



COURS ÉLÉMENTAIRE,

THÉORIQUE ET PRATIQUE,

DE CONSTRUCTION.

DE L'IMPRIMERIE DE DUCESSOIS,
RUE SAINT-JACQUES, N°. 67.

COURS ÉLÉMENTAIRE,

THÉORIQUE ET PRATIQUE,

DE

CONSTRUCTION.

PAR J. P. DOULIOT,

PROFESSEUR D'ARCHITECTURE ET DE CONSTRUCTION A L'ÉCOLE ROYALE GRATUITE DE MATHÉMATIQUES ET DE DESSIN EN FAVEUR DES ARTS MÉCANIQUES.

SECONDE PARTIE.

CHARPENTE EN BOIS.



PARIS,

CARILIAN-GŒURY, Libraire des Corps royaux des Ponts et Chaussées et des Mines, quai des Augustins, N°. 41.

1828.



INTRODUCTION.

La charpente est une des parties les plus importantes et les plus étendues de la science que nous appelons *construction*. Son objet est de faire toutes les espèces d'ouvrages en bois qui sont destinés à résister à des efforts plus ou moins considérables. On peut diviser ces divers genres d'ouvrages en trois classes principales : la première, que nous appellerons *charpente de bâtiment*, comprenant tout ce qui est relatif aux édifices; c'est-à-dire les pans de bois, les planchers, les combles, les voûtes, les cintres pour soutenir les assises des voûtes en maçonnerie pendant leur exécution, les escaliers en bois, les échafaudages, les étayemens et les machines propres à transporter et élever de grands fardeaux. La seconde, que nous nommerons *charpente hydraulique*, embrassant tout ce qui est du ressort des ingénieurs des ponts-et-chaussées; c'est-à-dire le pilotage et les sonnettes pour battre les pieux, les grillages de bois dans les fondations, les bâtardeaux, les caissons, les machines à épuiser les eaux, celles à draguer, les gares, les portes d'écluses et les écluses elles-mêmes, les ponts de service, les ponts tournans, les ponts levis, les ponts immobiles, etc. Enfin, la troisième classe se composant de toutes les constructions nautiques qui se font en bois, telles que les navires, et tout ce qui flotte sur les mers.

Je n'ai pas eu la prétention de faire un traité complet de charpente; aussi ai-je entièrement gardé le silence sur les constructions nautiques, d'abord parce qu'elles me sont moins familières, et que, d'ailleurs, elles sont étrangères à l'objet que je me propose dans ce cours de construction. Mais je me suis étendu beaucoup sur la charpente de bâtiment, comme étant plus spécialement de mon sujet; et j'ose croire l'avoir rendue aussi complète qu'elle peut l'être, par les détails et les développemens dans lesquels je suis entré. Cependant comme dans un livre il n'est pas permis de tout dire sans s'exposer à être plus ennuyeux qu'instructif, j'ai tâché de me taire partout où j'ai pu croire que l'intelligence du lecteur pouvait suppléer à mes explications. Sans entrer dans autant de détails dans la charpente hydraulique, je n'ai cependant rien négligé de ce qui m'a paru propre à intéresser le lecteur; et j'espère qu'il y trouvera assez de matière pour se mettre à portée de faire, par lui-même, tout ce que je n'ai pas expliqué.

La table qui termine ce volume, fait voir en détail les différens sujets qui y sont traités, et l'ordre suivant lequel je les ai présentés. On y voit que j'ai divisé la charpente en trois sections; que la première traite des qualités des bois; la seconde, de la charpente de bâtiment; et la troisième, de la charpente hydraulique. On y voit aussi que chaque section est divisée en plusieurs leçons, comme la première partie de cet ouvrage, ainsi que je l'ai annoncé dans l'introduction générale, qui est en tête de cette première partie. Dans cette introduction générale, j'avais annoncé que la seconde partie de ce cours de construction traiterait des lois de l'équilibre et du mouvement, tant des corps solides que des liquides, de la théorie de la résistance des corps solides, des lois de la stabilité, etc., au lieu de la charpente; mais j'ai pensé qu'en donnant

ces théories avant d'avoir fait connaître en détail les différentes constructions auxquelles elles sont applicables, il serait devenu nécessaire de séparer ces théories de leurs applications, et de renvoyer ces dernières, en les divisant, à la fin de chaque partie de ce cours, ce qui eut coupé l'ordre des idées sans aucune espèce d'avantage. Il convenait donc infiniment mieux, ainsi que je l'ai fait, de renvoyer toutes ces théories et leurs applications à la fin du cours, et d'expliquer d'abord successivement, et d'une manière en quelque façon purement pratique, les différentes espèces de constructions. En séparant ainsi la pratique de la théorie, je trouve encore l'avantage de me rendre utile à une classe nombreuse, aux ouvriers, en ne leur donnant que ce qu'ils ont besoin de savoir, et dans des termes qu'ils puissent entendre; et d'obliger, en quelque sorte, ceux qui veulent devenir théoriciens, à s'instruire avant tout de la pratique. J'espère donc que le public me saura gré de ce changement important dans l'ordre que j'avais annoncé d'abord, et dont j'ai cru devoir ici rendre compte.

Les auteurs qui se sont occupés de la charpente, sont Philibert de Lorme, qui nous a transmis son système de comble, dont il est parlé dans ce cours; Mathurin Jousse, architecte et ingénieur de la ville de la Flèche, qui nous a donné un ouvrage sur la charpente, qui est loin de mériter le nom de traité de charpente, même l'édition corrigée et augmentée par M. de la Hire, en 1751; le père François Derand, à qui nous devons le premier traité qui présente la charpente sous un point de vue assez convenable; mais outre qu'il s'en faut beaucoup qu'il soit complet, toutes les éditions en sont entièrement épuisées, et on ne peut se le procurer que très-difficilement; Nicolas Fourneau, charpentier, à Rouen, nous a donné un ouvrage où il ne s'oc-

cupe qu'à présenter et à surmonter des difficultés de pratique ; et pour cela il offre des exemples plus ou moins bizarres, et il n'entre dans aucun développement relatif à l'esprit qui doit guider dans la composition des différens genres de charpente ; cet ouvrage ne traite uniquement que de ce que les ouvriers appellent *le trait de la charpente*. M. J. Ch. Krafft a depuis publié un fort beau recueil de plans, coupes et élévations de diverses productions de charpente, exécutées tant en France que dans les pays étrangers. Mais ce recueil présentant les choses sans ordre, et ne renfermant, pour toute explication, que de simples légendes, sera toujours précieux sans doute par les matériaux qu'il fournit, et dont nous avons quelquefois fait usage ; mais il ne pourra jamais être regardé comme un traité, puisqu'il est sans méthode. L'auteur lui-même a senti cette vérité, puisqu'il a depuis publié un autre ouvrage sur le même sujet, dont le texte est en plusieurs langues, où il est entré dans plus de développement. Enfin, M. Rondelet, dans son traité de l'art de bâtir, a présenté la charpente sous un point de vue plus convenable que tous ceux qui l'ont précédé ; mais il s'est resserré dans un cadre trop étroit, et n'a pas donné assez de choses pour satisfaire les besoins de la pratique. Aussi, le public désire-t-il depuis long-temps un traité qui, aux avantages de ceux que nous venons de citer, réunisse plus de méthode et plus d'étendue. J'ai essayé de remplir cette tâche, c'est au public à juger si j'y ai réussi.



COURS ÉLÉMENTAIRE,

THÉORIQUE ET PRATIQUE,

DE CONSTRUCTION.

ÉLÉMENS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE,

POUR SERVIR DE SUPPLÉMENT A LA GÉOMÉTRIE A TROIS DIMENSIONS.

1re. LEÇON.

Notions préliminaires.

1. Comme l'espace est infini, et que toutes ses parties sont parfaitement semblables, lorsque nous voulons définir la position d'un point ou d'une ligne qui y est situé, nous sommes obligés de le rapporter à quelque chose dont la nature et la position sont connues, tant de celui qui définit que de celui qui veut entendre la définition. A cet effet, on est généralement convenu, d'après Monge, de se servir de deux plans perpendiculaires entre eux, et dont la position est ordinairement telle, que l'un de ces plans est horizontal et l'autre vertical (1). Ces plans ont reçu le nom de *plans de projection.*

2. La projection d'un point sur un plan, est le *pied* de la perpendiculaire abaissée du point sur le plan.

Le pied de la perpendiculaire abaissée d'un point situé dans l'espace au plan horizontal, est la projection horizontale de ce point, et le pied de celle abaissée du même point sur le plan vertical, en est la projection verticale.

3. Soient *abcd* et *efgh* (fig. 1) les deux plans de projection, et M le point donné dans l'espace; d'après ce qui précède, si l'on abaisse par le point M

(1) Rien ne s'opposerait à ce qu'on prît ces plans dans toute autre position, et faisant entre eux un angle quelconque; mais c'est plus simple de les supposer dans les circonstances que nous venons de dire.

les perpendiculaires Mm et Mm' respectivement sur les plans de projection, les pieds m et m' de ces perpendiculaires seront les projections du point M.

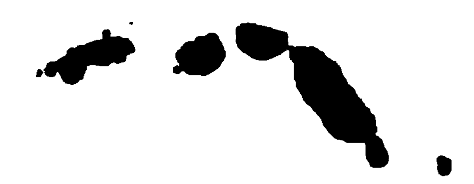
Je dis maintenant que ces deux projections suffisent pour fixer la position du point M dans l'espace; car si par chacune d'elles on élève une perpendiculaire mM, m'M au plan de projection dans lequel elle est située, ces deux perpendiculaires se couperont en un point M dans l'espace, qui sera évidemment celui dont il s'agit.

4. La perpendiculaire Mm abaissée du point M sur le plan horizontal, mesure la distance du point M au plan horizontal, et celle Mm' abaissée du même point M sur le plan vertical, mesure la distance de ce point M au plan vertical; d'où il suit que, si l'on connaissait l'une de ces distances, il suffirait de connaître la projection du point M sur le plan auquel cette distance se rapporterait, pour avoir la position de ce point M dans l'espace. Ainsi, par exemple, supposons que l'on connaisse la projection horizontale m de ce point, et sa distance au plan horizontal; par le point m on élevera la droite mM perpendiculaire à ce plan horizontal, on fera cette droite égale à la distance donnée, et on aura le point M demandé.

5. Si par les deux droites Mm et Mm', respectivement perpendiculaires aux deux plans de projection, on fait passer un plan Mmtm', ce plan sera à la fois perpendiculaire aux deux plans de projection, puisque deux plans sont perpendiculaires entre eux quand l'un passe par une droite perpendiculaire à l'autre (géom. à trois dimensions, n°. 43), et comme l'intersection de deux plans perpendiculaires à un troisième est perpendiculaire à ce troisième plan (géom. à trois dim., n°. 45), il en résulte que le plan Mmtm' sera perpendiculaire à l'intersection AB des deux plans de projection. Par conséquent les intersections mt et $m't$ de ce plan avec les plans de projection seront perpendiculaires à la droite AB; d'où il suit que le quadrilatère Mmtm' est un rectangle; ce qui donne $tm = m'$M et $tm' = m$M. Mais m'M est la distance du point M au plan vertical; donc tm peut être prise pour cette même distance; de plus, mM est la distance du même point M au plan horizontal; donc tm' peut être prise pour cette dernière distance.

6. L'intersection AB des deux plans de projection s'appelle la *ligne de terre*. Ainsi, on peut dire que, la perpendiculaire abaissée sur la ligne de terre par la projection horizontale d'un point, est la distance de ce point au plan vertical; et la perpendiculaire abaissée sur la ligne de terre par la projection verticale du même point, est la distance de ce point au plan horizontal.

7. Si maintenant nous faisons tourner le plan vertical *abcd* sur la ligne de terre AB comme sur un axe, jusqu'à ce qu'il coïncide avec le plan horizon-



tal *efgh* (1), la droite tm' ne cessera pas d'être perpendiculaire à AB ; d'où il s'ensuivra que quand cette droite tm' sera située dans le plan horizontal *efgh*, elle deviendra le prolongement tm'' de la perpendiculaire mt à la ligne de terre AB, qui passe par la projection horizontale m du point donné, et le point m' sera en m'' à une distance tm'' de la ligne de terre égale à tm' : on pourra donc regarder le point m'' comme la projection verticale du point donné M.

Il suit de là que, si l'on veut opérer sur un seul plan (fig. 2), les projections m et m' du point seront situées sur une même perpendiculaire mm' à la ligne de terre ; de manière que la projection horizontale m sera au-dessous, et la projection verticale m' au-dessus de la ligne de terre AB. La distance du point M (qui cesse d'être visible) au plan horizontal sera la droite tm', et celle du même point au plan vertical sera la droite tm.

8. La projection verticale d'un point n'est pas toujours au-dessus et la projection horizontale au-dessous de la ligne de terre, car l'inverse peut avoir lieu, et les deux projections du point peuvent être ou toutes les deux au-dessus, ou toutes les deux au-dessous de cette ligne de terre : cela dépend de la position du point dans l'espace, par rapport au plan de projection.

1°. Si le point M donné dans l'espace est (fig. 3) derrière le plan vertical et au-dessous du plan horizontal, sa projection horizontale sera le point m situé derrière le plan vertical, et sa projection verticale le point m' situé au-dessous du plan horizontal ; si donc on rabat le plan vertical *abcd* sur le plan horizontal *efgh*, en le faisant tonrner sur la ligne de terre AB, la projection horizontale du point en question M sera le point m, et la projection verticale deviendra le point m'' ; de sorte que lorsqu'on considère les choses ramenées sur un seul plan, quand le point de l'espace est situé derrière le plan vertical et au-dessous du plan horizontal, la projection horizontale m est au-dessus, et la projection verticale m' au-dessous de la ligne de terre AB (fig. 4).

2°. Si le point M de l'espace est situé derrière le plan vertical et au-dessus du plan horizontal (fig. 5), la projection horizontale m de ce point sera encore derrière le plan vertical, et la projection verticale m' sera, dans ce cas, située au-dessus de la ligne de terre AB ; de sorte que, si l'on ramène les choses dans un seul plan, en faisant tourner le plan vertical sur la ligne de terre, la projection horizontale m ne changera pas de position, et la projection verticale m' deviendra m'' : c'est-à-dire que dans ce cas les deux projections seront toutes les deux au-dessus de la ligne de terre AB (fig. 6).

(1) Le sens suivant lequel ce plan tourne est indiqué dans la figure et les suivantes par des quarts de cercle ponctués : c'est toujours dans ce sens qu'il faut supposer le rabattement.

3°. Si le point M de l'espace est situé en avant du plan vertical et au-dessous du plan horizontal (fig. 7), la projection horizontale *m* sera en avant du plan vertical, et la projection verticale *m'* au-dessous du plan horizontal ; si donc on ramène les choses dans un même plan, en faisant tourner le plan vertical *abcd* sur la ligne de terre AB, la projection horizontale *m* restera en avant du plan vertical, et la projection verticale *m'* deviendra *m"* ; c'est-à-dire que, dans ce cas, les deux projections seront situées au-dessous de la ligne de terre AB (fig. 8).

Il est très-important de se bien pénétrer de ce que deviennent les projections d'un point de l'espace, lorsque ce point passe de l'une des quatre régions qu'embrassent les plans de projection dans une autre, et réciproquement quelle est la région où se trouve le point, d'après la position de ses projections relativement à la ligne de terre ; car lorsqu'on dessine une épure de géométrie descriptive, c'est toujours sur les projections qu'on opère, ramenées dans un seul plan, et il faut concevoir à chaque instant ce qui résulte de ces opérations dans l'espace, et c'est là précisément la plus grande difficulté que les commençans aient à surmonter.

9. Je ne crois pas avoir besoin de démontrer que, si le point donné est situé sur un des plans de projection, sa projection sur l'autre sera sur la ligne de terre ; car, par exemple, si le point est sur le plan horizontal, sa distance à ce plan étant nulle, la distance *tm'* (fig. 2) doit être nulle aussi ; donc la projection verticale *m'* est sur le point *t* de la ligne de terre.

10. Comme ce qui précède s'applique à un nombre quelconque de points, et qu'une ligne quelconque peut être regardée comme composée d'une suite de points ne laissant entre eux aucun intervalle, il en résulte que la projection d'une ligne quelconque sur un plan, est le lieu de tous les pieds des perpendiculaires abaissées sur ce plan, par tous les points de cette ligne.

11. Si la ligne est droite, sa projection sur chaque plan de projection le sera aussi ; car les perpendiculaires abaissées de tous les points de cette droite sur chaque plan de projection sont parallèles entre elles, et de plus, elles ont toutes un point de commun avec la droite dont il s'agit ; d'où il résulte qu'elles sont toutes situées dans un même plan mené perpendiculairement au plan de projection auquel elles se rapportent, et passent par la droite donnée : leurs pieds sont donc à l'intersection de ce plan avec le plan de projection ; d'où il suit que les projections d'une ligne droite sont des droites situées aux intersections respectives de plans menés par la droite donnée perpendiculairement à chaque plan de projection.

Ainsi (fig. 9), si par la droite *m*M, donnée dans l'espace, on mène le plan

mMM'm' perpendiculaire au plan horizontal *efgh*, l'intersection M'm' de ce plan avec celui de projection, sera la projection horizontale de cette droite; et si par la même droite mM on mène le plan mMM''m'' perpendiculaire au plan vertical, l'intersection m''M'' avec le plan de projection sera la projection verticale de cette même droite mM.

12. Ces plans, qui passent par la droite donnée, et qui sont respectivement perpendiculaires aux plans de projection, s'appellent *plans projetans* de la droite.

13. Les projections m'M' et m''M'' (fig. 9) étant données, la droite mM est déterminée de position dans l'espace; car elle doit se trouver nécessairement à l'intersection mM des plans projetans; par conséquent une droite est connue dans l'espace, quand on a ses projections.

14. Il suit de ce qui précède, que, *la projection d'une ligne quelconque située dans l'espace, est l'intersection d'une surface cylindrique dont les génératrices sont perpendiculaires au plan de projection, et passent par la ligne donnée.*

Cette surface cylindrique devient plane, quand la ligne est droite, ainsi que nous l'avons déjà démontré.

15. On nomme *surfaces projetantes*, celles qui, passant par la ligne donnée, donnent les projections de cette ligne par leurs intersections avec les plans de projection; et *lignes projetantes*, les perpendiculaires abaissées d'un point de l'espace sur les plans de projection.

16. Si la ligne est courbe, ses projections seront, ou toutes les deux courbes, ou l'une droite et l'autre courbe, ou enfin, toutes les deux droites: cela dépendra de la position et de la forme de cette ligne dans l'espace. Cependant il est une famille de courbes, dont les projections sont toujours curvilignes, quelle que soit leur position dans l'espace; ces courbes se nomment *courbes à double courbure;* leur caractère principal est de ne pouvoir être situées dans un plan.

17. La projection d'une courbe plane est une ligne droite, quand son plan est perpendiculaire au plan de projection, car alors la surface cylindrique projetante de la courbe est son plan même; les deux projections d'une courbe plane sont deux lignes droites, lorsque son plan est à la fois perpendiculaire aux deux plans de projection. Si le plan de la courbe était parallèle au plan de projection, sa projection serait une courbe parfaitement égale, puisque les sections faites dans une surface cylindrique par des plans parallèles sont égales; d'où il suit que si cette courbe est un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole, sa projection sera un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole égale.

18. De ce que 1°. toute section faite dans un cylindre à base circulaire ou elliptique par un plan est une ellipse ou un cercle, il s'ensuit que la projection d'un cercle ou d'une ellipse qui n'est pas perpendiculaire au plan de projection est un cercle ou une ellipse; 2°. toute section faite dans un cylindre à base parabolique ou hyperbolique par un plan est une parabole ou une hyperbole; d'où il suit que la projection d'une parabole ou d'une hyperbole qui n'est pas perpendiculaire au plan de projection est une parabole ou une hyperbole, suivant le cas. (Voyez la 5me. leçon de la géom. à trois dimensions.)

19. Si on fait tourner le plan vertical ABCD (fig. 9) sur la ligne de terre AB, comme sur une charnière, jusqu'à ce qu'il coïncide avec le plan horizontal *efgh*, il est évident que, quelle que soit la projection verticale $m''M''$ d'une ligne mM, que nous supposerons quelconque, elle ne changera pas de position par rapport à la ligne de terre AB, et sa projection verticale deviendra la ligne $m'''M'''$; d'où il résulte qu'on peut considérer les projections d'une ligne quelconque, droite ou courbe, sur un seul et même plan, sans le moindre inconvénient, comme nous l'avons déjà fait pour un point, pourvu que la ligne de terre conserve la position qui lui convient sur ce plan. Ainsi (fig. 10), les lignes $M'm'$ et $M''m''$, que nous supposerons quelconques pour plus de généralité, peuvent être considérées comme les projections d'une ligne droite ou courbe, située dans l'espace; de sorte que, AB étant la ligne de terre, $m'M'$ en sera la projection horizontale, et $m''M''$ la projection verticale.

2me. LEÇON.

Théorèmes sur les projections des Lignes.

20. THÉORÈME. *Si une droite est parallèle à l'un des plans de projection, sa projection sur l'autre sera parallèle à la ligne de terre.*

En effet, supposons, pour fixer les idées, que la droite en question soit parallèle au plan horizontal; le plan projetant sur le plan vertical sera parallèle au plan horizontal, puisque ces deux plans sont perpendiculaires au plan vertical, et que le plan projetant passe par une droite parallèle au plan horizontal; mais les intersections de deux plans parallèles coupés par un troisième sont parallèles; donc la projection verticale de la droite est parallèle à la ligne de terre.

Il est évident que, si la droite était parallèle au plan vertical, sa projection horizontale serait parallèle à la ligne de terre.

21. THÉORÈME. Réciproquement, *si l'une des projections d'une droite est parallèle à la ligne de terre, cette droite sera parallèle au plan de l'autre projection.*

En effet, le plan projetant qui passera par la projection parallèle à la ligne de terre sera parallèle au plan de l'autre projection ; mais la droite en question est située dans ce plan projetant ; donc elle ne pourra jamais rencontrer le plan de projection auquel ce plan projetant est parallèle.

22. THÉORÈME. *Si une droite est parallèle à la fois aux deux plans de projection, ses deux projections seront parallèles à la ligne de terre.*

En effet, la droite étant parallèle au plan horizontal, sa projection verticale sera parallèle à la ligne de terre ; et cette même droite étant aussi parallèle au plan vertical, sa projection horizontale sera pareillement parallèle à la ligne de terre ; donc les deux projections sont parallèles à cette ligne de terre.

23. THÉORÈME. Réciproquement, *si les deux projections d'une droite sont parallèles à la ligne de terre, cette droite sera à la fois parallèle aux deux plans de projection.*

En effet, le plan projetant sur le plan horizontal est parallèle au plan vertical, et le plan projetant sur le plan vertical est parallèle au plan horizontal ; mais la droite se trouve à la fois sur les deux plans projetans ; donc elle ne peut rencontrer aucun des plans de projection.

24. THÉORÈME. *Si une droite est perpendiculaire à l'un des plans de projection, sa projection sur ce plan sera un point, et sa projection sur l'autre sera une droite perpendiculaire à la ligne de terre.*

Supposons que cette droite soit perpendiculaire au plan horizontal ; il est clair que toutes les perpendiculaires abaissées de ses points sur ce plan se confondront avec la droite elle-même ; par conséquent les pieds de toutes ces perpendiculaires seront au même point du plan horizontal.

En second lieu, le plan projetant sur le plan vertical sera perpendiculaire au plan horizontal, puisque ce plan projetant passe par une perpendiculaire au plan horizontal ; et comme le plan vertical est aussi perpendiculaire au plan horizontal, l'intersection du plan projetant avec le plan vertical, ou la projection verticale de la droite, sera perpendiculaire au plan horizontal, et par conséquent à la ligne de terre.

Il est évident que, si la droite était perpendiculaire au plan vertical, sa projection verticale serait un point, et sa projection horizontale une perpendiculaire à la ligne de terre.

25. THÉORÈME. Réciproquement, *si l'une des projections d'une droite est*

un point, et que l'autre soit perpendiculaire à la ligne de terre, la droite sera perpendiculaire au plan sur lequel sa projection n'est qu'un point.

Cette proposition est évidente, car il ne peut y avoir que le cas où une droite étant perpendiculaire à un plan, sa projection sur ce plan puisse n'être qu'un point. Dans le cas où on ne saurait pas que l'autre projection est perpendiculaire à la ligne de terre, on pourrait donc le conclure de ce que la première projection n'est qu'un point. Mais il ne suffirait pas que l'une des projection d'une droite fût perpendiculaire à la ligne de terre pour pouvoir en conclure que cette droite est perpendiculaire au plan de l'autre projection, car cette droite pourrait être située sur un plan perpendiculaire aux deux plans de projection, sans qu'elle fût perpendiculaire à aucun de ces plans.

26. THÉORÈME. *Si une droite est perpendiculaire à la ligne de terre, ses deux projections seront aussi perpendiculaires à la même ligne.*

En effet, dans ce cas les deux plans projetans se confondront, et le plan unique qui en résultera sera perpendiculaire aux deux plans de projection, et par conséquent à la ligne de terre. Donc les intersections de ce plan avec les plans de projection ou les projections de la droite dont il s'agit, seront aussi perpendiculaires à la ligne de terre.

L'inverse de cette proposition n'a point lieu; c'est-à-dire que, si les projections d'une droite sont perpendiculaires à la ligne de terre, la droite n'est pas, par cela seul, perpendiculaire à la ligne de terre; car il suffit qu'une droite soit située dans un plan perpendiculaire aux deux plans de projection, pour que les projections de cette droite soient perpendiculaires à la ligne de terre.

27. THÉORÈME. *Si une droite est située sur l'un des plans de projection, sa projection sur l'autre sera sur la ligne de terre.*

En effet, supposons que la droite dont il s'agit soit sur le plan horizontal, il est clair que le plan projetant sur le plan vertical coïncidera avec le plan horizontal, et que par conséquent il ne rencontrera le plan vertical que sur la ligne de terre.

Si la droite était située sur le plan vertical, il est facile de voir que sa projection sur le plan horizontal serait aussi sur la ligne de terre.

28. THÉORÈME. *Si l'une des projections d'une droite est sur la ligne de terre, cette droite sera sur le plan de l'autre projection et coïncidera avec cette autre projection.*

Cette proposition est évidente d'elle-même.

29. THÉORÈME. *Si une droite est située à la fois sur les deux plans de pro-*

jection, elle sera sur la ligne de terre, et elle coïncidera avec ses deux projections.

Cela est encore évident de soi-même.

30. THÉORÈME. *Les projections de deux droites parallèles, dans l'espace, sont parallèles dans chaque plan de projection.*

Les plans projetans de ces droites sur le plan horizontal, par exemple, sont parallèles, puisqu'ils sont perpendiculaires au même plan, et passent par deux droites parallèles; donc, les intersections de ces plans projetans avec le plan horizontal, ou les projections horizontales des deux droites dont il s'agit, sont parallèles. Il en serait de même pour les projections verticales.

31. THÉORÈME. Réciproquement, *si les projections de deux droites sont parallèles dans chaque plan de projection, ces deux droites le seront aussi.*

En effet, soient ABCD le plan horizontal, ABEF (fig. 11) le plan vertical, *gh*, *lm* les projections de la première droite *ab*, et *ef*, *no* les projections de la seconde *cd*; si l'on mène les plans projetans par chacune de ces projections, ceux relatifs au même plan de projection seront parallèles, et chaque droite se trouvera à l'intersection de ses plans projetans. Or, les intersections *ki*, *ab* des plans projetans *labm*, *ncdo* avec le plan *gabh* sont parallèles, puisque les deux premiers plans le sont, et les intersections *ki*, *cd* des plans projetans *gabh*, *ecdf* avec le plan *ncdo* sont aussi parallèles; les droites en question *ab*, *cd* sont donc parallèles à une troisième *ki*, donc elles sont parallèles entre elles; ce qu'il fallait démontrer.

32. THÉORÈME. *Si deux lignes quelconques se coupent dans l'espace, les projections de leur intersection seront sur une perpendiculaire à la ligne de terre, et en même temps sur les intersections des projections de ces lignes sur chaque plan de projection.*

Car, le point d'intersection de ces lignes leur étant commun, aura nécessairement ses projections à la rencontre des projections de ces mêmes lignes, dans chaque plan de projection; de plus, en vertu du n°. 7, les projections d'un point devant se trouver sur une même perpendiculaire à la ligne de terre, il s'ensuit que la proposition est démontrée.

33. THÉORÈME. Réciproquement, *si les projections de deux lignes quelconques se coupent dans chaque plan de projection, de manière que leurs points d'intersection soient sur une même perpendiculaire à la ligne de terre, les deux lignes se couperont dans l'espace.*

En effet, les intersections des projections données ayant lieu sur une même perpendiculaire à la ligne de terre, elles sont les projections d'un même point : par conséquent, si on élevait les lignes projetantes par les pro-

jections de ce point, elles se couperaient dans l'espace en ce point, lequel appartiendrait nécessairement aux deux lignes en question; car les projetantes qui le déterminent sont élevées par des points qui sont communs aux projections de ces mêmes lignes dans chaque plan de projection.

34. THÉORÈME. *Le point, où une ligne quelconque rencontre le plan horizontal, est l'intersection de sa projection horizontale avec une perpendiculaire à la ligne de terre menée par le point où la projection verticale de la même ligne rencontre la ligne de terre; et, le point où cette même ligne rencontre le plan vertical, est l'intersection de sa projection verticale avec une perpendiculaire à la ligne de terre menée par le point où sa projection horizontale rencontre cette ligne de terre.*

En effet, une ligne ne peut rencontrer un plan de projection que dans sa projection sur ce plan, car la ligne ne peut pas sortir de sa surface projetante; donc elle ne peut rencontrer le plan de projection qu'à l'intersection de ce plan avec la surface projetante relative à ce même plan de projection. De plus, la ligne étant aussi dans la surface projetante sur l'autre plan de projection, ne peut rencontrer le premier plan de projection que sur l'intersection de ce plan avec cette seconde surface projetante, laquelle intersection est perpendiculaire à la ligne de terre, puisque les génératrice de cette surface projetante sont toutes perpendiculaires au plan de projection auquel elle est relative; il suit donc de tout cela que la proposition est démontrée.

35. PROBLÊME. *Les projections* AB, CD (fig. 12), *d'une droite étant données, trouver les points a et b où cette droite perce les plans de projection.*

Supposons d'abord qu'il s'agisse de trouver le point *a* où la droite donnée perce le plan horizontal.

Ce point *a* doit être sur la projection horizontale AB de la droite donnée; et puisque ce point *a* est sur le plan horizontal, sa projection verticale doit être sur la ligne de terre AE, et en même temps sur la projection verticale DC de la droite donnée, c'est-à-dire, au point C où cette projection verticale DC rencontre la ligne de terre AE; mais les projections d'un même point sont sur une même perpendiculaire à la ligne de terre; donc le point demandé *a* sera au point où la perpendiculaire C*a*, menée par le point C à la ligne de terre AE, rencontre la projection horizontale AB de la droite.

Pour avoir le point *b* où la droite donnée rencontre le plan vertical, il faudrait prolonger la projection horizontale jusqu'à la ligne de terre AE, élever, par le point A, une perpendiculaire A*b* à la ligne de terre, et le point *b*, où la droite A*b* rencontrerait la projection verticale DC de la droite donnée, serait le point demandé.

36. PROBLÈME. *Les projections* AB, CD (fig. 13) *d'une droite étant données, trouver les angles* B*a*G, D*b*H, *que cette droite fait avec chaque plan de projection.*

L'angle que fait une droite avec un plan, est le même que celui que fait la même droite avec sa projection sur le plan.

Si donc nous supposons qu'on ait d'abord cherché, d'après le procédé ci-dessus, les points *a* et *b* où la droite donnée perce les plans de projection, et qu'ensuite on ait déterminé les projections E et B d'un même point de la droite donnée (ce qu'on fera en menant une perpendiculaire EB à la ligne de terre KC, laquelle ira rencontrer les projections AB, CD de la droite donnée aux points B et E, qui seront les projections dont il s'agit), il est clair qu'on pourra concevoir un triangle rectangle sur le plan projetant élevé sur la projection horizontale AB, formé par cette projection horizontale AB, par la droite donnée elle-même, et par la projetante élevée par la projection B du point dont il vient d'être question; il est clair aussi que l'angle aigu de ce triangle, qui aura son sommet au point *a*, sera l'angle cherché : il suffira donc de construire ce triangle pour avoir l'angle demandé.

Or, si par le point B de la projection horizontale AB, on élève une perpendiculaire BG à cette droite, que l'on fasse BG égal à la projetante KE sur le plan horizontal, et que l'on mène la droite *a*G, l'angle B*a*G sera celui que forme la droite donnée avec le plan horizontal.

Pour avoir l'angle E*b*H que forme la même droite avec le plan vertical, on construira le triangle rectangle E*b*H comme on a construit le triangle B*a*G, en opérant sur la projection verticale, comme on vient de le faire sur la projection horizontale, et réciproquement.

On peut se dispenser de trouver les points où la droite donnée perce les plans de projection, en menant (fig. 14) une perpendiculaire EF à la ligne de terre, qui donnera, sur les projections AB, CD, de la droite donnée, les projections E et F d'un même point de cette droite; en menant, par les poins E et F, les droites EG, FK, parallèles à la ligne de terre HI, et ensuite pour construire le triangle BFL, dont l'angle BFL est l'angle que forme la droite donnée avec le plan horizontal, au lieu de faire BL égal à ID, on ne fera BL égal qu'à GD; de même, pour construire le triangle EMD, dont l'angle MED est l'angle que fait la droite donnée avec le plan vertical, au lieu de faire DM égal à IB, on le fera égal à BK : d'où l'on voit que les droites EG, FK jouent le rôle de la ligne de terre.

37. PROBLÈME. *Une droite étant donnée par les projections* A *et* C, B *et* D *de ses extrémités* (fig. 15), *trouver la véritable longueur de cette droite.*

Si la droite donnée était parallèle à l'un des plans de projection, la longueur demandée serait la projection même de la droite dans ce plan.

Le cas que nous supposons ici est celui où la droite donnée n'est parallèle à aucun des plans de projection.

Sur la projection horizontale AB de la droite donnée, imaginons le plan projetant; ce plan contiendra la droite en question, laquelle formera avec sa projection AB et les projetantes sur le plan horizontal dont les pieds sont les points A et B, un trapèze A*ab*B rabattu autour de la droite AB, qui sera facile à construire, en élevant par les points A et B, les perpendiculaires A*a*, B*b*, que l'on fera respectivement égales aux projetantes EC, FD, et en menant par les points *a* et *b* la droite *ab*, qui sera évidemment la longueur demandée.

Si par l'extrémité *a* de la droite donnée, qui est le plus près du plan horizontal, on mène une horizontale *ad*, on aura un triangle rectangle *abd* dont l'hypothénuse *ab* sera la longueur demandée; la différence *bd* des hauteurs des extrémités de la droite donnée par rapport au plan horizontal sera l'un des côtés de l'angle droit, et le troisième côté *ad* sera égal à la projection horizontale AB de cette droite. Or, les projetantes EC, FD mesurent les distances des extrémités de la droite en question par rapport au plan horizontal; si donc par le point C on mène une parallèle CG à la ligne de terre, GD sera la différence de ces hauteurs, et, par conséquent, si l'on fait G*d'* égal à la projection horizontale AB de la droite donnée, et que l'on joigne les points *d'* et D par la droite D*d'*, le triangle rectangle DG*d'* sera égal au triangle *abd*, et la droite *d'*D sera la longueur demandée.

On pourrait, dans les deux solutions que nous venons de trouver, raisonner sur la projection verticale comme nous l'avons fait sur la projection horizontale et réciproquement, et obtenir de même la longueur demandée.

38. PROBLÊME. *Trouver l'angle que forment deux droites qui se coupent dans l'espace, ces droites étant données par leurs projections* AB *et* CD, BB' *et* DF (fig. 16.)

On se rappelera que pour que les droites données se coupent dans l'espace, il faut que les intersections D et B des projections de ces droites soient sur une même perpendiculaire DB à la ligne de terre AB'.

Pour résoudre le problême, on cherchera les points où les deux droites données percent le même plan de projection (n°. 35), le plan vertical, par exemple; par les points C et F où ces droites percent le plan vertical, on menera la droite CF qui sera l'intersection, avec le plan vertical, du plan supposé mené par les deux droites données : cette intersection CF formera, avec les droites données, un certain triangle dont l'angle opposé

au côté CF sera l'angle demandé : construisons donc ce triangle par le moyen des trois côtés.

Le côté CF est connu, et les deux autres côtés sont donnés par leurs projections, qui sont, pour le premier, les droites AB, CD, et pour le second, les droites B'B, DF. Comme les extrémités C et F de ces deux côtés sont sur le plan vertical, on aura les véritables longueurs respectives BI, BH de ces droites, en portant leurs projections verticales CD, DF respectivement de T en I et de T en H. Ainsi donc, en prenant un rayon égal à IB et du point C, comme centre, décrivant un arc en G; ensuite, avec un rayon égal à BH et du point F, comme centre, décrivant un second arc en G, qui coupera le premier en un point G, on aura le triangle demandé CGF en menant par le point G et les points C et F les droites CG et FG, et par conséquent l'angle CGF qui sera l'angle demandé.

Il pourrait arriver que, par exemple, les deux projections horizontales AE, EB' (fig. 17) des droites données se trouvassent sur une même droite AB'; dans ce cas on chercherait les points A et B' où les droites données rencontreraient le plan horizontal; par le point D d'intersection des projections verticales, on abaisserait la perpendiculaire DE, et le point E serait la projection horizontale du sommet de l'angle demandé, et on opérerait comme ci-dessus pour trouver cet angle.

3me. LEÇON.

Théorèmes sur le plan considéré dans l'espace.

39. *Remarque.* Il est évident qu'un plan est déterminé de position dans l'espace, lorsque l'on connaît ses intersections avec les plans de projection. Ainsi, (fig. 18) le plan qui passe par les droites TM et TM' situées, l'une TM sur le plan horizontal *abcd*, et l'autre TM' dans le plan vertical A*ef*B, est déterminé de position.

Les intersections TM et TM' d'un plan quelconque avec les plans de projection, se nomment les *traces* de ce plan.

40. THÉORÈME. *Les deux traces d'un plan quelconque rencontrent la ligne de terre en un même point.*

En effet, les traces d'un plan sont dans ce plan; par conséquent elles ne peuvent rencontrer la ligne de terre qu'au point où leur plan rencontre cette ligne.

41. *Remarque* 1. Si maintenant on fait tourner le plan vertical $AefB$ (fig. 18) sur la ligne de terre AB comme sur une charnière, l'angle M'TB que forme la trace verticale TM' avec la ligne de terre AB ne changera point par rapport à cette ligne de terre; d'où il suit que, quand le plan vertical coïncidera avec le plan horizontal, la trace verticale deviendra TM'', et on aura l'angle M''TB = M'TB ; par conséquent, quand on considérera les choses sur un seul plan, la droite TM'' deviendra la trace verticale du plan, et sera située au-dessus de la ligne de terre, tandis que la trace horizontale TM sera en dessous.

42. *Remarque* 2. Si les deux traces TM et TM' d'un plan (fig. 19), ramenées sur un seul plan, forment avec la ligne de terre un angle aigu chacune, et que les sommets de ces angles soient tournés du même côté, le plan présentera sa face supérieure, et les projections de tout ce qui sera compris dans ce plan entre les traces, seront situées dans ces angles aigus; et, si les deux traces TM et TM' d'un autre plan (fig. 20) forment, avec la ligne de terre, l'une MT un angle MTB aigu, dans le sens que l'autre M'T forme un angle M'TB obtus, le plan présentera sa face inférieure, et les projections de tout ce qui sera compris dans ce plan entre les traces, seront situées en dehors de l'angle aigu MTB et en dedans de l'angle obtus M'TB.

43. THÉORÈME. *Si un plan est parallèle à l'un des plans de projection, il n'aura qu'une seule trace, qui sera parallèle à la ligne de terre, et sera située dans l'autre plan de projection.*

En effet, un plan ne peut pas avoir de trace sur le plan auquel il est parallèle, puisque la trace d'un plan n'est autre chose que l'intersection de ce plan avec celui de projection, et comme les intersections de deux plans parallèles coupés par un troisième sont parallèles, il est évident que la trace unique de ce plan est parallèle à la ligne de terre, et est située sur le plan de projection auquel le plan en question n'est pas parallèle.

On remarquera que le plan parallèle à l'un des plans de projection est perpendiculaire à l'autre; car les deux plans de projection sont perpendiculaires entre eux.

44. THÉORÈME. Réciproquement, *si un plan n'a qu'une seule trace, et qu'elle soit parallèle à la ligne de terre, ce plan sera perpendiculaire au plan de projection sur lequel sa trace est située, et sera parallèle à l'autre.*

En effet, il est évident que ce plan est parallèle au plan de projection sur lequel la trace unique n'est point située; car si cela n'était pas vrai, ces deux plans se rencontreraient, et le plan aurait une seconde trace, ce qui est contre l'hypothèse; donc ces deux plans sont parallèles; et puisque le plan

en question est parallèle à l'un des plans de projection, il est perpendiculaire à l'autre.

45. THÉORÈME. *Si l'une des traces d'un plan est perpendiculaire à la ligne de terre, et que l'autre trace soit quelconque, ce plan sera perpendiculaire au plan de projection dans lequel sa trace est quelconque.*

En effet, la trace perpendiculaire à la ligne de terre est perpendiculaire au plan de projection de l'autre trace, puisque les deux plans de projection sont perpendiculaires entre eux (géom. à trois dim., n°. 44); mais tout plan qui passe par une perpendiculaire à un autre plan, est perpendiculaire à ce dernier; donc la proposition est démontrée.

Il suit de là que, de ce qu'un plan est perpendiculaire à l'un des plans de projection, il n'en résulte pas que ce plan soit parallèle à l'autre.

46. THÉORÈME. Réciproquement, *si un plan est perpendiculaire à l'un des plans de projection sans être parallèle à l'autre, sa trace sur le plan de projection auquel il est perpendiculaire sera quelconque, et l'autre sera perpendiculaire à la ligne de terre.*

En effet, la trace située dans le plan de projection qui n'est pas perpendiculaire au plan dont il s'agit, n'est autre chose que l'intersection de deux plans perpendiculaires à un troisième (géom. à trois dim., n°. 45); donc elle est perpendiculaire à ce troisième plan, lequel est le plan de projection auquel le plan donné est perpendiculaire.

47. THÉORÈME. *Si un plan est à la fois perpendiculaire aux deux plans de projection, ses deux traces seront perpendiculaires à la ligne de terre.*

En effet, la ligne de terre est, dans ce cas, perpendiculaire au plan en question, car elle est l'intersection de deux plans perpendiculaires à ce plan en question; et comme les traces de ce plan se rencontrent sur la ligne de terre, il est clair qu'elles sont perpendiculaires à cette ligne de terre.

48. THÉORÈME. Réciproquement, *si les deux traces d'un plan sont perpendiculaires à la ligne de terre, ce plan sera perpendiculaire aux deux plans de projection.*

En effet, chacune des traces de ce plan est perpendiculaire au plan de projection de l'autre, puisqu'elle est perpendiculaire à la ligne de terre, et que les plans de projection sont perpendiculaires entre eux; donc le plan qui passera par chacune de ces traces sera perpendiculaire à chaque plan de projection.

49. THÉORÈME. *Si les deux traces d'un plan sont parallèles à la ligne de terre, ce plan sera parallèle à cette ligne de terre.*

En effet, une droite est parallèle à un plan, lorsqu'elle est parallèle à

une autre droite située dans le plan (géom. à trois dim., n°. 27); or, les deux traces en question sont situées dans le plan qu'elles déterminent, et comme elles sont parallèles à la ligne de terre, il s'ensuit que la proposition est démontrée.

50. THÉORÈME. Réciproquement, *si un plan est parallèle à la ligne de terre, ses traces seront parallèles à cette ligne de terre.*

En effet, dans le plan donné menons une droite qui coupe les deux traces; et par les points d'intersection de cette droite avec les traces du plan, menons deux traces parallèles à la ligne de terre; le plan qui passera par ces nouvelles traces, passera aussi par la droite menée dans le plan donné, et sera parallèle à la ligne de terre; mais deux plans qui passent par une même droite et qui sont parallèles à une autre droite se confondent; d'où il suit que la proposition est démontrée.

51. *Remarques.* Un plan dont les traces sont parallèles à la ligne de terre peut rencontrer les plans de projection des quatre manières suivantes :

1°. Ce plan peut rencontrer le plan horizontal en avant du plan vertical, et le plan vertical au-dessus du plan horizontal : dans ce cas, il est clair que si l'on considère les choses dans un seul plan, la trace horizontale sera en dessous de la ligne de terre, et la trace verticale en dessus.

2°. Il peut rencontrer le plan horizontal en avant du plan vertical, et le plan vertical en dessous du plan horizontal; dans ce cas, si l'on considère les choses dans un seul plan, il est clair que les deux traces seront en dessous de la ligne de terre.

3°. Il peut rencontrer le plan horizontal en arrière du plan vertical, et le plan vertical en dessus du plan horizontal : en considérant les choses dans un seul plan, il est évident que, dans ce cas, les deux traces seront au-dessus de la ligne de terre.

4°. Enfin, il peut rencontrer le plan horizontal en arrière du plan vertical, et le plan vertical en dessous du plan horizontal : ici la trace horizontale sera en dessus de la ligne de terre, et la trace verticale en dessous, si l'on considère les choses dans un seul plan.

Ces remarques seront très-utiles pour se bien représenter la position d'un plan dans l'espace, relativement aux plans de projection.

52. THÉORÈME. *Si une droite est située dans un plan, elle ne pourra rencontrer les plans de projection que sur les traces du plan qui la contient.*

Car cette droite, ne pouvant sortir du plan dans lequel elle est située, ne saurait rencontrer les plans de projection qu'à leurs intersections avec le plan qui la contient, c'est-à-dire sur les traces de ce plan.

De plus, la droite ne peut rencontrer les plans de projection que sur ses projections mêmes; donc les points de rencontre, de la droite et des plans de projection, sont respectivement sur les intersections des projections de la droite et des traces du plan qui contient cette droite.

53. THÉORÈME. *Si une droite située dans un plan donné par ses traces est parallèle au plan horizontal, sa projection horizontale sera parallèle à la trace horizontale du plan donné, et sa projection verticale sera parallèle à la ligne de terre; de même, si la droite est parallèle au plan vertical, sa projection verticale sera parallèle à la trace verticale du plan qui la contient, et sa projection horizontale sera parallèle à la ligne de terre* (fig. 18).

En effet, si la droite mn, située dans le plan dont les traces sont les droites TM, TM′, est parallèle au plan horizontal, son plan projetant nmm'' sur le plan vertical sera parallèle à ce plan horizontal; en outre, cette droite étant à la fois sur son plan projetant et sur le plan donné, sera à l'intersection de ces deux plans. Mais les intersections de deux plans parallèles coupés par un troisième sont parallèles; donc la droite en question mn est parallèle à la trace horizontale TM du plan qui la contient. De plus, la même droite est parallèle à sa projection horizontale $m'n'$ puisqu'elle est parallèle au plan horizontal, et qu'elle est dans le même plan que sa projection; donc la trace horizontale TM du plan donné et la projection $m'n'$ de la droite dont il s'agit sont parallèles à une même droite mn; donc ces deux droites TM et $m'n'$ sont parallèles entre elles.

Quant à la projection verticale $m''n$ de la droite, on sait qu'elle est parallèle à la ligne de terre, puisque la droite est parallèle au plan horizontal.

On remarquera que la projection verticale $m''n$, de cette droite mn, passe nécessairement par le point n où le plan projetant sur le plan horizontal coupe la trace verticale TM′ du plan qui contient la droite mn, c'est-à-dire par le point n, où l'intersection $n'n$ du plan projetant sur le plan horizontal et du plan vertical rencontre la trace verticale TM′ du plan donné. Or, cette intersection nn' est perpendiculaire à la ligne de terre AB, et passe par le point n' où la projection horizontale mn rencontre cette ligne de terre. Le même raisonnement servirait à démontrer les mêmes choses pour le cas où la droite serait parallèle au plan vertical.

54. THÉORÈME. Réciproquement, *si une droite est située dans un plan donné par ses traces, et que, par exemple, sa projection horizontale soit parallèle à la trace horizontale du plan donné, cette droite sera parallèle au plan horizontal. De même, si la projection verticale de la droite est paral-*

lèle à la trace verticale du plan donné, cette droite sera parallèle au plan vertical.

En effet, supposons que cette droite ne soit pas parallèle au plan de projection sur lequel sa projection est parallèle à la trace du plan donné ; alors, elle rencontrera ce plan ; mais le point de rencontre de cette droite et de ce plan sera nécessairement sur la projection de la droite dans ce même plan (n°s. 34 et 35); de plus, la droite étant située sur le plan donné, elle ne pourra rencontrer le plan de projection dont il s'agit, que sur la trace du plan donné située dans ce même plan de projection (n°. 52); donc le point de rencontre de la droite et du plan de projection que nous considérons sera à la fois sur la projection de la droite et sur la trace du plan qui la contient; donc ce point sera à l'intersection de ces deux droites; mais, par hypothèse, elles sont parallèles, elles ne pouront donc jamais se rencontrer; donc la droite et le plan dont il est question ne se rencontreront pas non plus; donc cette droite est parallèle à ce plan.

55. THÉORÈME. *Si une droite est perpendiculaire à un plan donné par ses traces, ses projections seront respectivement perpendiculaires aux traces du plan.*

En effet, si l'on imagine le plan projetant de cette droite sur le plan horizontal, ce plan projetant sera perpendiculaire au plan horizontal et au plan donné par ses traces, puisqu'il passe par la droite donnée perpendiculaire à ce dernier plan ; la trace horizontale du plan donné sera donc perpendiculaire au plan projetant de la droite; cette trace horizontale sera donc perpendiculaire à toutes les droites qui passeront par son pied dans le même plan projetant; elle sera donc perpendiculaire à la projection horizontale de la droite donnée. On démontrerait de même que la trace verticale du plan donné est perpendiculaire à la projection verticale de la droite qui est perpendiculaire à ce plan donné, ce qui acheverait de démontrer la proposition.

56. THÉORÈME. Réciproquement, *si les projections d'une droite sont respectivement perpendiculaires aux traces d'un plan, cette droite sera perpendiculaire au plan.*

En effet, les plans projetans de cette droite sont respectivement perpendiculaires aux traces du plan donné, puisqu'ils passent par des droites respectivement perpendiculaires à ces traces; donc les plans projetans sont tous les deux perpendiculaires au plan en question; donc leur intersection sera perpendiculaire à ce plan; donc enfin la droite donnée est perpendiculaire à ce même plan.

57. THÉORÈME. *Si les deux projections d'une droite sont respectivement parallèles à celles d'une autre droite située dans un plan, la première droite sera parallèle au plan.*

En effet, les deux droites sont parallèles, puisque leurs projections le sont respectivement; mais une droite parallèle à une autre droite située dans un plan est parallèle à ce plan.

La réciproque de cette proposition n'a pas lieu; c'est-à-dire que les projections d'une droite parallèle à un plan, ne sont pas toujours parallèles à celles d'une droite quelconque située dans ce plan; car, dans un plan, une droite peut avoir une infinité de directions différentes.

58. THÉORÈME. *Si l'on considère deux plans quelconques, on pourra toujours mener dans l'un une droite parallèle à l'autre.*

Car si les deux plans sont parallèles la proposition est évidente, et s'ils ne sont pas parallèles, prolongés, ils se rencontreront suivant une droite, à laquelle, si l'on mène une parallèle dans l'un des deux plans, cette dernière droite sera parallèle à l'autre plan; car si cela n'était pas vrai, cette droite et ce plan se rencontreraient en un point qui ne serait pas sur l'intersection des deux plans donnés, puisque la droite en question est supposée parallèle à l'intersection des deux plans donnés; ces deux plans donnés auraient donc une droite et un point communs; ils coïncideraient donc, ce qui est contre l'hypothèse; donc la proposition est vraie.

59. THÉORÈME. *Les traces de deux plans parallèles sont respectivement parallèles.*

En effet, dans chaque plan de projection, les traces sont les intersections de deux plans parallèles coupés par un troisième; donc elles sont parallèles.

60. THÉORÈME. Réciproquement, *si les traces de deux plans sont respectivement parallèles, les plans le seront aussi.*

Supposons que cela ne soit pas vrai, et dans le premier plan, menons une droite parallèle au second (ce qui est toujours possible, ainsi que nous venons de le démontrer), et prolongeons cette droite jusqu'à ce qu'elle rencontre les traces du plan qui la contient : par cette droite on pourra mener un plan parallèle au second plan donné : les traces de ce nouveau plan seront parallèles à celles de ce second plan donné, et couperont celles du premier aux points où la droite dont il vient d'être question coupe les mêmes traces. Mais les traces des deux plans donnés sont parallèles par hypothèse; par un même point on pourrait donc mener deux parallèles à la même droite, ce qui est impossible; donc, quand les traces de deux plans sont parallèles, les plans le sont aussi.

4me. LEÇON.

Problèmes sur la Ligne droite et le Plan.

61. PROBLÈME. *Les traces d'un plan étant données, trouver les angles que ce plan forme avec les plans de projection.*

Ce problème présente quatre cas :

1°. Le plan donné peut être perpendiculaire à l'un des plans de projection, et avoir, par conséquent, une de ses traces perpendiculaire à la ligne de terre.

Ainsi, par exemple, supposons (fig. 21) que la trace horizontale AB du plan donné soit celle qui est perpendiculaire à la ligne de terre AD, et que l'autre AC soit quelconque. Il est bien évident que, dans ce cas, l'angle que fait la trace horizontale AB avec la ligne de terre AD, est précisément celui que fait le plan donné avec le plan vertical, et que l'angle CAD que fait la trace verticale AC avec la ligne de terre, est celui que fait le même plan donné avec le plan horizontal.

2°. Les deux traces du plan donné peuvent former deux angles aigus avec la même partie de la ligne de terre, ainsi qu'on le voit dans la fig. 22, où AB est la trace horizontale et AC la trace verticale.

Dans ce cas, pour avoir l'angle que fait le plan donné avec le plan horizontal, on imaginera un plan perpendiculaire à la trace horizontale AB; la trace horizontale DE de ce plan sera perpendiculaire à la trace AB du plan donné, et sa trace verticale EF le sera à la ligne de terre (n°. 55), qui est la projection verticale de la droite AB. L'intersection de ce plan perpendiculaire à AB, avec le plan donné, sera perpendiculaire à AB, de sorte que l'angle formé par cette intersection et la droite DE sera l'angle demandé.

Si maintenant on considère les choses dans l'espace disposées comme elles doivent l'être, on verra l'intersection, dont nous venons de parler, passer par les points D et F, et former un triangle rectangle avec les droites DE, EF qui seront les côtés de l'angle droit; formons donc ce triangle. Pour cela, il suffira de faire EG égal à ED, et de mener la droite GF : le triangle en question sera GEF, et l'angle demandé sera l'angle FGE.

Pour avoir l'angle IKB que fait le plan donné avec le plan vertical, on opérera sur la trace verticale, comme nous venons de le faire sur la trace horizontale, et réciproquement.

3°. L'une des traces du plan donné peut faire un angle aigu et l'autre un angle obtus avec la même partie de la ligne de terre, ainsi qu'on le voit par la figure 23, où AB est la trace horizontale qui fait, avec la partie AG de la ligne de terre, un angle aigu, et où AC est la trace verticale qui fait un angle obtus avec la même partie AG de la ligne de terre.

Dans ce cas, on raisonnera comme dans le précédent, et on prolongera, autant qu'il sera nécessaire, les traces du plan donné au-delà de la ligne de terre, comme la fig. 23 l'indique ; on trouvera que l'angle EGF est celui que fait le plan donné avec le plan horizontal, et l'angle ILK, celui que fait le même plan donné avec le plan vertical.

4°. Enfin les deux traces du plan donné peuvent être parallèles à la ligne de terre, ainsi qu'on le voit par la fig. 24, où KL est la trace horizontale, et AC la trace verticale du plan donné.

Dans ce cas, le plan perpendiculaire à la trace horizontale KL du plan donné, sera aussi perpendiculaire à la ligne de terre, puisque ces deux droites sont parallèles ; par conséquent, en vertu de ce qui a été dit (n°. 47), les deux traces de ce plan seront une même perpendiculaire DE à la ligne de terre, car un plan perpendiculaire à la ligne de terre est perpendiculaire aux deux plans de projection.

Pour avoir l'angle FGE que forme le plan donné avec le plan horizontal, ou l'angle FHD que forme le même plan avec le plan vertical, on voit évidemment ce qu'il faut faire.

On observera que les deux triangles rectangles FGE, FDH sont égaux, et que, par conséquent, il suffit d'en avoir un pour avoir les angles demandés.

62. PROBLÈME. *On demande la trace verticale d'un plan donné par sa trace horizontale et par l'angle qu'il fait avec le plan horizontal.*

Soit AB (fig. 22 et 23) la trace horizontale donnée; on menera à cette trace horizontale AB une perpendiculaire DE quelconque; par le point E où cette droite DE rencontrera la ligne de terre, on élevera une verticale EF, on fera EG égal à ED, et sur la ligne de terre AE et au point G, comme sommet, on fera un angle EGF égal à l'angle donné : le point F où la droite GF rencontrera la droite EF sera évidemment un point de la trace verticale demandée; mais les deux traces doivent se rencontrer sur la ligne de terre; si donc par le point F et le point A, où la trace horizontale AB donnée rencontre la ligne de terre, on mène la droite AF, cette droite sera la trace verticale demandée.

63. PROBLÈME. *On demande* 1°. *les projections de l'intersection de deux plans donnés par leurs traces;* 2°. *l'angle que ces deux plans forment entre eux.*

le second plan donné, et l'angle MON que forment les deux droites MH, NL, sera l'angle des deux plans donnés. Pour avoir les projections de l'intersection de ces deux plans, on menera par le point O une parallèle OP à la ligne de terre EF, qui sera la projection verticale de la droite en question ; et on aura la projection horizontale TR, de la même droite, en faisant IR égal à SO, et en menant par le point R une parallèle RT à la ligne de terre.

4°. Enfin il pourrait se faire que les deux traces horizontales ou les deux traces verticales seulement fussent parallèles, les deux autres se rencontrant d'une manière quelconque, ainsi qu'on le voit par la figure 28, où ce sont les deux traces horizontales AB, A'B' qui sont parallèles, les traces verticales AC, A'C se rencontrant au-dessus de la ligne de terre AA'.

Dans ce cas, par le point C où les traces verticales AC, A'C se rencontrent, on abaissera une perpendiculaire CT à la ligne de terre AA', et par le point T on menera une parallèle TG à l'une AB des traces horizontales données, qui sera la projection horizontale de l'intersection des deux plans donnés. Pour avoir la projection verticale CH de la même intersection, il suffira de mener, par le point où les deux traces verticales des plans donnés se rencontrent, une parallèle CH à la ligne de terre.

Pour avoir l'angle des deux plans donnés, on menera une perpendiculaire BB' quelconque, à la projection horizontale TG de l'intersection de ces deux plans, on fera GD égal à TC, et par le point D et les points B et B', où la droite BB' rencontre les traces horizontales AB, A'B' données, on menera les droites DB, DB', qui feront entre elles l'angle demandé BDB'.

64. PROBLÊME. *Par un point donné par ses projections, mener une perpendiculaire à un plan donné par ses traces* (fig. 29).

Puisque les projections d'une droite perpendiculaire à un plan sont perpendiculaires aux traces de ce plan, il est clair que si par les projections *a*, *b* du point donné on mène des perpendiculaires *a*P, *b*P' aux traces AB, AC du plan donné, ces perpendiculaires *a*P, *b*P' seront les projections mêmes de la perpendiculaire demandée.

Si l'on demandait la longueur *ac* de cette perpendiculaire, comprise entre le point et le plan donnés, on s'y prendrait comme il a été expliqué au n°. 37.

65. PROBLÊME. *Les projections d'une droite et les traces d'un plan étant données, trouver les projections du point où la droite perce le plan* (fig. 29).

Soient *a*P, *b*P' les projections de la droite, et AB, AC les traces du plan. Par la projection horizontale *b*P' on élevera un plan perpendiculaire au plan horizontal, lequel plan contiendra la droite en question. Par conséquent cette droite ne pourra rencontrer le plan donné, qu'à l'intersection de ce

plan avec le plan qui contient la droite donnée ; si donc on avait la projection verticale de l'intersection de ces deux plans, la projection verticale du point dont il s'agit serait sur un point de cette droite ; or le plan qui contient la droite en question étant perpendiculaire au plan horizontal aura sa trace verticale DE perpendiculaire à la ligne de terre, et sa trace horizontale sera la projection horizontale *b*P′ de la droite donnée ; ainsi donc on aura la projection verticale EF de l'intersection des deux plans dont il s'agit, en suivant le premier procédé du n°. 63.

La projection verticale P du point où la droite donnée rencontre le plan donné, sera à la fois sur la droite EF et sur la projection verticale *a*P de la droite en question ; pour avoir la projection horizontale P′ du même point, il suffira de mener par le point P une perpendiculaire PP′ à la ligne de terre, et le point P′, où cette perpendiculaire rencontrera la projection horizontale *b*P′ de la droite donnée, sera la projection demandée.

66. *Remarque* 1. Si l'une des projections de la droite, la projection horizontale *ab* (fig. 30), par exemple, était parallèle à la ligne de terre, la projection verticale *ef* étant quelconque, on imaginerait le plan projetant sur le plan horizontal, et on concevrait que son intersection avec le plan donné par ses traces AB, AC, devrait être parallèle à la trace verticale AC de ce plan donné. Il suit de là que, pour avoir la projection verticale *de*, de cette intersection, par le point *c* où la projection horizontale *ab* de la droite donnée rencontre la trace horizontale AB du plan donné, il faudra mener une perpendiculaire *cd* à la ligne de terre, et par le pied *d* de cette perpendiculaire, mener la droite *de* parallèle à la trace horizontale AC du plan donné, qui sera la projection verticale de l'intersection avec le plan donné du plan projetant de la droite sur le plan horizontal. Cette droite *de* rencontrera donc la projection verticale *ef*, de la droite donnée, en un point *e* qui sera la projection verticale du point où la droite rencontre le plan; si donc par ce point *e* on abaisse une perpendiculaire *eb* à la ligne de terre, le point *b*, où cette perpendiculaire rencontrera la projection horizontale *ab* de la droite donnée, sera la projection horizontale du même point.

67. *Remarque* 2. Ce problême, qui est fort simple, a des applications nombreuses dans la coupe des pierres et la charpente; il est le fondement de la solution de tous les problêmes dans lesquels il s'agit de couper, par un plan, des surfaces engendrées par une ligne droite, de quelque nature qu'elles soient. On conçoit, en effet, que par ce problême on pourra trouver les projections des points où un certain nombre des génératrices de l'une de ces sortes de surfaces rencontreront le plan coupant, et qu'en réunissant

ensuite, dans chaque plan de projection, les projections de ces points par une courbe à la main, on aura deux courbes qui seront les projections de l'intersection du plan coupant et de la surface. Nous verrons, par la suite, des applications de cette remarque.

68. PROBLÈME. *On donne les traces* AB, AC (fig. 31) *d'un plan, les projections ab, cd d'une droite, et on demande l'angle que forme la droite avec le plan.*

Par un point de la droite, dont les projections sont les points *a* et *c*, on menera une perpendiculaire au plan donné (n°. 64) dont les projections seront les droites *ag*, *ce*; on cherchera les projections *e*, *g* et *d*, *f* du pied de cette perpendiculaire et de celui de la droite donnée (n°. 65), et on joindra ces projections par les droites *ed*, *gf*, qui seront celles d'une droite qui joindra, dans le plan donné, les pieds de la perpendiculaire et de la droite donnée : les triangles *ced*, *agf* seront, en conséquence, les projections d'un triangle formé par la droite donnée, par la perpendiculaire menée au plan donné et par la droite qui, dans ce plan, joint les pieds de la perpendiculaire et de l'oblique; si donc on construit ce triangle, l'angle formé par la droite donnée et celle qui joint les deux pieds, sera évidemment celui qu'on demande. Pour construire ce triangle, on cherchera (n°. 37) la véritable longueur de ses trois côtés.

69. PROBLÈME. *Trouver les traces* AB, AC *d'un plan devant passer par trois points donnés par leurs projections a et b, c et d, e et f* (fig. 32).

Par un des points donnés, dont les projections sont *c* et *d*, on menera une droite à chacun des autres; et les projections de ces droites seront *ac*, *bd* pour la première, et *ce*, *df* pour la seconde.

Si maintenant on veut avoir la trace verticale AC du plan en question, on cherchera les points E et C où les droites, dont les projections sont *ac* et *bd*, *ce* et *df*, rencontrent respectivement le plan vertical, par le moyen donné au n°. 35, et on menera par ces deux points E et C la droite AC, qui sera la trace demandée. Pour avoir la trace horizontale AB du même plan, on cherchera où l'une des droites qui passent par les points donnés, rencontre le plan horizontal; si l'on veut que ce soit celle dont les projections sont *ce* et *df*, on trouvera le point B par lequel et le point A, où la trace verticale AC rencontre la ligne de terre AF, on menera la droite AB, qui sera la trace horizontale demandée.

70. PROBLÈME. *Deux droites se rencontrant, pouvant se rencontrer, ou étant parallèles dans l'espace, sont données par leurs projections, et on demande les traces du plan de ces deux droites.*

Ce problême est tout-à-fait le même que le précédent : on cherchera les points où les droites données rencontreront les plans de projection, lesquels points appartiendront aux traces du plan demandé.

71. PROBLÊME. *On donne les projections ce, df* (fig. 32) *d'une droite; celles a et b d'un point, et on demande les traces* AB, AC *d'un plan mené par la droite et le point.*

Par la projection verticale *a* du point donné, on menera une droite *ac* qui coupe la projection verticale *ce* de la droite donnée en un point *c*; par ce point *c*, on abaissera une perpendiculaire *cd* à la ligne de terre, qui rencontrera la projection horizontale *df* de la droite donnée en un point *d*, par lequel et la projection horizontale *b* du point donné, on menera la droite *bd*, qui sera la projection horizontale d'une droite menée par le point donné, et qui rencontre la droite donnée : la projection verticale de la même droite est celle *ac* que nous venons de mener par le point *a*. Il est clair maintenant que le plan mené par les droites qui se coupent, et dont les projections sont les droites *ce*, *df* pour l'une, et *ac*, *bd* pour l'autre, sera le plan demandé : on en aura donc les traces AB, AC, par le procédé précédent.

72. *Remarque.* On pourrait aussi résoudre le même problême en menant, par les projections du point donné, des droites respectivement parallèles aux projections de la droite donnée, lesquelles droites seraient les projections d'une droite menée par le point donné parallèlement à la droite donnée, et le plan qui passerait par ces deux droites passerait aussi par la droite et le point donnés.

73. PROBLÊME. *Les traces* AB, AC *d'un plan, et les projections a et b d'un point étant données, trouver les traces* A'B', A'C' *d'un plan parallèle au premier, et passant par le point donné* (fig. 33).

On imaginera par le point donné une parallèle à la trace horizontale AB du plan donné, et par conséquent une parallèle au plan horizontal lui-même; cette droite sera dans le plan demandé, sa projection horizontale *bc* sera parallèle à la trace AB, passera par la projection horizontale *b* du point donné, et sa projection verticale *a*C' sera parallèle à la ligne de terre et passera par la projection verticale *a* du point donné. Si maintenant on cherche le point C' où cette droite rencontre le plan vertical, ce point C' sera un point de la trace verticale. D'ailleurs les traces du plan demandé doivent être parallèles à celles du plan donné; ainsi, si par le point C' on mène la droite C'A' parallèle à la trace AC, cette droite A'C' sera la trace verticale du plan demandé. Il est facile de voir que pour avoir la trace hori-

zontale A'B' du même plan, il suffira de mener une parallèle A'B' à la trace donnée AB, par le point A' où la trace verticale A'C' rencontre la ligne de terre.

74. PROBLÊME. *Les traces* AB, AC *d'un plan et les projections* DE, NG *d'une droite étant données* (fig. 34), *trouver les traces* ME, MN *d'un plan passant par la droite perpendiculairement au plan donné.*

On menera une perpendiculaire HI quelconque, à la ligne de terre AG, qui ira rencontrer les projections de la droite donnée aux points H et I, qui seront les projections d'un point de cette même droite. Par ces points H et I on menera les droites HL, IK respectivement perpendiculaires aux traces AB, AC du plan donné; ces perpendiculaires HL, IK seront les projections d'une perpendiculaire au plan donné. Ainsi le plan qui passera par cette droite sera perpendiculaire à ce plan donné, et par conséquent le plan qui passera en même temps par la droite donnée, sera le plan demandé; de sorte que le problême est réduit maintenant à celui du n°. 70, c'est-à-dire, à faire passer un plan par deux droites données par leurs projections DE, NG et HL, IK.

75. PROBLÊME. *Deux droites étant données par leurs projections* AB, MD *et* BI, EF (fig. 35), *trouver les traces* LM, LI *d'un plan mené par l'une de ces droites parallèlement à l'autre.*

Si c'est par la droite dont les projections sont AB, MD que le plan en question doit passer, on cherchera les projections D et B d'un point de cette droite, en menant une perpendiculaire BD à la ligne de terre AK, par lesquelles projections B et D, on menera des parallèles BG, DH, aux projections BI, EF de l'autre droite donnée, et ces parallèles BG, DH seront les projections d'une nouvelle droite parallèle à cette seconde droite donnée. Je dis maintenant que le plan qui passera par la première droite donnée et par la troisième dont nous venons de déterminer les projections, sera le plan demandé. Ainsi la question est réduite à celle du n°. 70.

76. PROBLÊME. *On donne les deux traces* TM, TM' (fig. 19 et 20) *d'un plan, la projection horizontale* m *d'un point situé dans ce plan, et on demande la projection verticale* m' *de ce point.*

Par la projection horizontale m du point, on menera une parallèle mn' à la trace horizontale TM du plan (qui sera la projection horizontale d'une horizontale menée dans le plan par le point dont il s'agit (n°. 53)); par le point n' où la droite mn' rencontrera la ligne de terre, on élevera à cette dernière la perpendiculaire $n'n$, qui rencontrera la trace verticale TM' au point n, par lequel on menera une parallèle nm' à la ligne de terre, et le

point m' où cette dernière droite rencontrera la perpendiculaire mm' menée à la ligne de terre par la projection horizontale du point, sera la projection verticale demandée.

77. PROBLÈME. *On donne les traces* AB, AC (fig. 36) *d'un plan, la projection horizontale abc d'une figure quelconque située dans ce plan, et on demande* 1°. *la projection verticale $a'b'c'$ de cette figure ;* 2°. *sa véritable forme ou son rabattement.*

1°. Il est évident, par le problème précédent, que pour avoir la projection verticale demandée $a'b'c'$, il faudra, par les points les plus remarquables de la projection horizontale abc de la figure en question, mener des parallèles ad, be, cf, ... à la trace horizontale AB du plan donné ; par les points d, e, f, ... où ces droites ad, be, cf, ... rencontreront la ligne de terre, élever des perpendiculaires dg, eh, fi, ... à cette dernière ; par les points g, h, i, ... où ces perpendiculaires viendront rencontrer la trace verticale AC du plan donné, mener des parallèles ga', hb', ic', ... à la ligne de terre, lesquelles viendront respectivement rencontrer les perpendiculaires aa', bb', cc', ... à la ligne de terre, menées par les points correspondans de la projection horizontale, en des points a', b', c' .... qui seront autant de points de la projection verticale demandée ; on réunira ensuite ces points par des lignes droites ou par une ligne courbe, suivant que les points remarquables de la projection horizontale donnée seront eux-mêmes joints par des lignes droites ou une ligne courbe.

2°. Ayant les deux projections de la figure, voici comment on en aura la véritable forme ou le rabattement.

Si l'on veut rabattre autour de la trace verticale AC, par les points remarquables a', b', c',..... de la projection verticale $a'b'c'$ de la figure en question, on abaissera des perpendiculaires indéfinies $a'a''$, $b'b''$, $c'c''$, ..., que l'on regardera comme étant les traces verticales d'autant de plans perpendiculaires à la trace autour de laquelle on veut rabattre. Ces plans rencontreront le plan donné suivant des droites perpendiculaires à cette trace, lesquelles passeront par les points correspondans de la figure dont les projections verticales sont les points a', b', c', ..., et seront les hypothénuses d'une suite de triangles rectangles dont les côtés de l'angle droit seront respectivement les distances $a'n$, $b'o$, c'C, ... des projections verticales a', b', c' ....., des points de la figure à la trace AC de rabattement, et les distances de ces mêmes points au plan vertical, ou les distances des projections horizontales des mêmes points à la ligne de terre. Ainsi donc on fera les distances nm, ol, Ck, ..., respectivement égales aux distances ap, bq, cr, ...; on joindra les points m, a' et

l, b' et k, c', etc., par des droites, et les triangles $ma'n$, $lb'o$, $kc'C$, ... seront ceux dont les hypothénuses ma', lb', kc' ..... sont les distances na'', ob'', Cc'', ..., qui détermineront le rabattement demandé $a''b''c''$.

On observera que les triangles rectangles $ma'n$, $lb'o$, $kc'C$, ... sont semblables (ce qui est facile à concevoir, en les supposant tous situés à leurs places dans l'espace, puisque, alors, ils auront les côtés parallèles), et que par conséquent, il suffira d'en construire un $a'mn$, et de mener ensuite des parallèles $b'l$, $c'k$, ... à son hypothénuse ma', par les points b', c', ..., pour avoir les autres.

78. *Remarque.* Si les traces EF, CD (fig. 37) du plan donné étaient parallèles à la ligne de terre, dans ce cas, on menerait une perpendiculaire GH à la ligne de terre AB ; on ferait IA = IG, on menerait la droite AH, et ensuite, la projection horizontale de la figure étant abc, on aurait la projection verticale $a'b'c'$, et le rabattement $a''b''c''$, ainsi que les lignes droites et les arcs de cercles ponctués l'indiquent suffisamment dans la figure 37.

Le lecteur s'exercera, pour la solution de ce problême, sur les figures 38 et 39, où le procédé est renversé, et où l'on suppose toujours que l'on donne la projection horizontale de la figure située dans le plan donné par ses deux traces.

79. PROBLÊME. *On donne le rabattement* $a''b''c''$ (fig. 36) *d'une figure située dans un plan donné par ses deux traces* AB, AC, *et la projection verticale* b' *du point de cette figure dont le rabattement est le point* b'', *et on demande la projection verticale* $a'b'c'$ *de la figure entière, ainsi que la projection horizontale* abc.

On remarquera d'abord que les points b' et b'' doivent être situés sur une même perpendiculaire $b'b''$ à la trace AC, du plan donné, autour de laquelle le rabattement a eu lieu, pour que le point b' puisse être la projection verticale de celui dont le rabattement est le point b''. Cela posé, voici de quelle manière on résoudra le problême en question.

Par les points remarquables a'', c''.... du rabattement donné, on abaissera des perpendiculaires indéfinies $a''a'$, $c''c'$,.... à la trace AC de rabattement; on prendra la longueur ob'' comme rayon, et par le point b' donné, comme centre, on décrira un arc de cercle qui coupe la droite AC, au point l, par lequel et le point b' on menera la droite $b'l$; on fera $lp = Cc''$, et par le point p on menera la droite pc' parallèle à la trace AC qui ira rencontrer la droite $c''c'$ au point c' qui sera la projection verticale du point dont le rabattement est le point c'' ; on fera $lq = na''$, et par le point q on menera la droite qa' parallèle à AC, qui ira rencontrer la droite $a''a'$ au point a', qui sera la

projection verticale du point dont le rabattement est le point a'', et on continuerait d'opérer de la même manière, s'il y avait un plus grand nombre de points à déterminer de la projection verticale demandée. Les points remarquables de cette projection étant ainsi trouvés, on les réunira par une ligne courbe, ou par des lignes droites, suivant le cas, et pour que le problême soit résolu, il ne s'agira plus que de trouver la projection horizontale de la figure en question, ce qu'on fera par le procédé du n°. 77, qui est évidemment applicable au présent cas, ainsi que la seule inspection de la figure 36 le fait assez comprendre.

La raison du procédé que nous venons de donner, pour passer du rabattement à la projection verticale d'une figure située dans un plan, est évidente, en ce que ce procédé est le contraire de celui du n°. 77.

Pour le cas de la figure 37, où les traces du plan sont parallèles à la ligne de terre, il est inutile d'avoir la projection verticale d'un point de la figure, pour rendre le problême déterminé (ce qui est indispensable dans le cas de la figure 36). Quant au procédé, les lignes ponctuées de la figure 37 l'indiquent suffisamment.

80. *Remarque.* Le passage de l'une des projections d'une figure située dans un plan à l'autre projection, et, par suite, au rabattement; et réciproquement, le passage du rabattement aux projections, sont des problêmes dans lesquels le lecteur ne saurait trop se familiariser, car ils trouvent leurs applications dans un grand nombre de circonstances.

81. PROBLÊME. *On donne les projections* CD *et* GH, EF *et* IK (fig. 40) *de deux droites non situées dans un même plan, et on demande les projections de la commune perpendiculaire à ces deux droites.*

On commencera par mener un plan par la droite dont les projections sont CD, GH, parallèlement à l'autre droite donnée (n°. 75) dont les projections sont EF, IK, et on trouvera les traces AK, AM de ce plan, en cherchant les projections L et D d'un point de la droite par laquelle doit passer le plan, en menant par ce point une droite dont les projections DB, IK soient respectivement parallèles à celles EF, IK de la seconde droite, à laquelle celle dont il est question sera parallèle, et en cherchant les points G et K où les deux droites dont les projections sont CD et GH, DB et IK, rencontrent le plan horizontal, par lesquels points G et K on menera la droite AK, qui sera la trace horizontale du plan demandé. Pour avoir la trace verticale, on cherchera le point M où la droite dont les projections sont DB et IK rencontre le plan vertical, par lequel et le point A on menera la droite AM, qui sera la trace demandée. Ensuite, par la seconde droite dont les projections

sont EF, IK, on menera un plan perpendiculaire à celui dont nous venons de trouver les traces AK, AM, et pour cela, par un point de cette droite, dont les projections sont les points *b*, *a*, on abaissera une droite perpendiculaire au plan dont les traces sont les droites AK, AM, et par cette droite, dont les projections sont les perpendiculaires *bl*, *ad* aux traces AK, AM et la droite dont les projections sont les droites EF, IK, on fera passer le plan demandé, dont on aura les traces *fe*, *fg* par le procédé du n°. 70. Ensuite, on cherchera la projection horizontale *nh* de l'intersection des deux plans dont on vient de trouver les traces AK, AM, et *fe*, *fg*; cette intersection rencontrera la droite située dans le plan dont les traces sont AK, AM, en un point dont la projection horizontale sera le point *i*, par lequel on menera une perpendiculaire *ik* à la trace AK, qui sera la projection horizontale d'une perpendiculaire au plan AK, AM, menée par le point dont nous venons de parler, laquelle sera dans le plan dont les traces sont *fn*, *fg*, et sera la commune perpendiculaire aux deux droites donnée. Pour avoir la projection verticale *ml* de cette perpendiculaire, par le point *i* on élevera la perpendiculaire *im* à la ligne de terre, qui rencontrera la projection verticale CD de la droite par laquelle passe le premier plan, celle dont la projection horizontale est la droite IK, en un point *m*, par laquelle on menera la droite *ml* perpendiculaire à la trace AM, qui sera la projection demandée.

Si l'on voulait la longueur de cette commune perpendiculaire aux deux droites données, on observerait que les projections *ml*, *ik* de cette perpendiculaire rencontrent respectivement les projections EF, IK de la seconde droite aux points *l* et *k*, de sorte que les longueurs des projections de cette commune perpendiculaire sont les droites *ml*, *ik* : on aurait la véritable longueur de la droite elle-même, par le procédé du n°. 37. Cette commune perpendiculaire est la plus courte distance entre les deux droites données (géom. à trois dim., n°. 48).

Nous pourrions pousser beaucoup plus loin la série des problêmes sur la ligne droite et le plan considérés dans l'espace; mais une assez longue expérience nous a appris que ceux dont nous venons de donner la solution suffisent pour l'objet que nous nous proposons dans cet ouvrage, mais qu'en même temps ils sont indispensables, si l'on veut étudier avec succès tout ce qui a rapport à la construction. Le lecteur qui voudrait des connaissances plus étendues sur la géométrie descriptive, n'aurait qu'à lire l'ouvrage de Monge, qui est, pour ainsi dire, le créateur de la science, ou celui de M. Hachette ou de M. Vallée.

COURS ÉLÉMENTAIRE,

THÉORIQUE ET PRATIQUE,

DE CONSTRUCTION.

DEUXIÈME PARTIE.

CHARPENTE EN BOIS.

SECTION PREMIÈRE.

DES QUALITÉS DES BOIS.

1re. LEÇON.

De la manière que les Arbres croissent à la surface de la terre.

1. Si l'on confie à la terre, au commencement du printemps, une semence d'arbre quelconque, on verra paraître, au bout de quelques semaines, un petit jet tendre et herbacé, qui croîtra, en durcissant, pendant toute la première année. Ce premier jet se composera de quatre parties : 1°. d'un filet central composé d'une substance molle, plus ou moins spongieuse, qu'on appelle *moële*; 2°. d'une tige ligneuse et durcissante qui aura la forme d'un cône creux très-allongé, et qui enveloppera la moële; 3°. d'une couche extérieure qu'on nomme *écorce*, qui enveloppera les deux premières parties, et qui n'acquierra qu'une faible consistance, et 4°. enfin d'un bouton qui se trouvera au sommet de ce premier jet, et qui communiquera avec la moële, la tige ligneuse et l'écorce.

2. Au commencement de la saison nouvelle, une liqueur, qu'on appelle *sève*, s'élevera des racines, comme dans la première année, montera jusqu'au bouton qui est au sommet du premier accroissement, et sera conduite par une multitude de petits canaux, dont les plus considérables seront entre l'écorce et la tige ligneuse du premier jet. Cette sève, en s'élevant, formera

l'accroissement de la seconde année, en se comportant à peu près de la manière suivante :

En partant des racines, elle se divisera pour prendre les divers canaux qui doivent la conduire, les uns au travers de la moëlle, les autres entre les fibres de la première couche ligneuse; d'autres entre l'écorce et la même couche ligneuse, et d'autres enfin au travers de l'écorce elle-même.

La partie de sève qui montera au travers de la moëlle, arrivera au bouton qui se trouve au sommet du premier jet, le fera épanouir, et en fera sortir une tige principale qui s'élèvera verticalement et une ou plusieurs autres latérales, dont la constitution sera la même que celle du premier jet. La sève qui montera entre les fibres de la première tige ligneuse, ne servira qu'à rendre cette tige plus dure et plus forte, sans la faire augmenter dans aucune dimension. Celle qui s'élèvera entre cette même tige ligneuse et l'écorce, formera elle-même les canaux qui la conduiront jusqu'au bouton, où elle se mêlera avec celle montée par la moëlle, et les fibres qu'elle formera entre l'écorce et la tige ligneuse constitueront une seconde tige ligneuse qui sera l'accroissement en grosseur de la seconde année, dont le prolongement formera les tiges ligneuses qui envelopperont immédiatement la moëlle des tiges sorties du premier bouton. Enfin, la partie de sève qui montera au travers de l'écorce, augmentera cette écorce en tous sens, pour qu'elle puisse toujours envelopper toutes les parties de l'arbre dans toute leur étendue.

Le jet principal du premier bouton constituera l'accroissement en hauteur de la seconde année, et les jets latéraux, formeront ce qu'on appelle les *branches* de l'arbre. Le *tronc* ou *corps* de l'arbre sera formé par les tiges ligneuses, en forme de cône creux très-allongé, qui se recouvrent les unes les autres en recouvrant la moëlle, et qui s'élèvent verticalement à partir des racines.

Chacune des tiges sorties du premier bouton sera terminée par un bouton comme la première, et ce bouton contiendra le germe de nouvelles tiges qui paraîtront au commencement du printemps de la troisième année.

La sève de la troisième année se comportera comme celle de la seconde, mais avec plus de force et de développement, et d'une manière plus compliquée, et ainsi de suite dans les années successives pendant lesquelles l'arbre continuera de croître. A chaque année, il croîtra de nouvelles branches qui sortiront du tronc de l'arbre et les unes des autres, et une couche ligneuse qui s'interposera entre la dernière couche ligneuse et l'écorce, et qui s'étendra d'une manière continue sur toute l'étendue du tronc et des branches, de sorte que ces couches ligneuses successives recouvriront celles des années

précédentes, comme la peau d'un animal recouvre son corps et tous ses membres.

3. Il suit de là que le tronc et les branches d'un arbre se composent d'une suite de couches ligneuses en forme de cône creux tronqué, appliquées les unes sur les autres, de manière que la première, qui enveloppe la moëlle, est recouverte par la seconde, la seconde par la troisième, et ainsi de suite, jusqu'à celle qui est elle-même recouverte par l'écorce, qui a été formée pendant la dernière année, et qui s'étend dans toute l'étendue du tronc et des branches.

Il est clair que le nombre de ces couches est égal à celui qui marque les années qui forment l'âge de l'arbre.

4. Une remarque importante est que ces couches annuelles n'augmentent plus dans aucune dimension, passé les années qui les ont respectivement produites; dans les années suivantes, elles n'augmentent plus que de solidité; de sorte que, au bout d'un certain nombre d'années, la première couche est plus dure, plus solide que la seconde, la seconde plus dure que la troisième, et ainsi de suite; de manière que la couche ligneuse, qui est immédiatement sous l'écorce, est celle qui a le moins de solidité.

5. Quand un arbre est abattu et scié en travers près des racines, mais un peu plus haut, on reconnaît les couches annuelles à une suite de bandes à peu près circulaires et plus ou moins concentriques, dont les largeurs ne sont autres choses que les épaisseurs des couches annuelles elles-mêmes, et ces bandes sont en nombre égal à celui des années de l'âge de l'arbre. Si l'on avait scié le tronc au-dessus de l'accroissement en hauteur de la première année, mais plus bas que celui de la troisième, on aurait trouvé une bande de moins, et ainsi de suite en montant; de sorte que, pour avoir l'âge véritable de l'arbre, il faut le scier tout près, mais un peu au-dessus des racines.

6. Si l'on refendait le tronc d'un arbre par le milieu, dans le sens et dans toute l'étendue de sa longueur, des étranglemens qu'on observerait, vers l'axe ou le cœur, dans la direction de ses fibres, indiqueraient les accroissemens annuels en hauteur. En effet, ces étranglemens ont lieu aux endroits où étaient les boutons qui terminaient les jets en hauteur de chaque année.

L'observation des accroissemens annuels est plus ou moins facile, suivant les espèces et les qualités des arbres : dans les uns ces accroissemens sont très-apparens, tandis que dans les autres, on a quelquefois de la peine à les distinguer à l'œil nu.

7. D'après ce qui précède, un arbre se compose de trois parties principales : la moëlle, l'ensemble des couches ligneuses et l'écorce.

La moële est presque insensible dans la plupart des grands arbres, et ne mérite, en conséquence, aucune attention de notre part.

L'ensemble des couches ligneuses, comprises entre la moële et l'écorce, constitue ce qu'on appelle le *bois proprement dit*. Le bois se compose du *cœur* de bois et de l'*aubier*.

Le cœur de bois est formé par la presque totalité des couches ligneuses, car ce qu'on appelle *aubier* n'est formé que par les couches ligneuses qui ont poussé dans les dernières années, et sont immédiatement sous l'écorce. Le nombre de ces couches ne va pas au-delà de quinze à vingt, et dans quelques arbres, il n'est même que de cinq à six. Les couches de l'aubier ne sont pas souvent d'une épaisseur uniforme, et leur nombre n'est pas toujours le même dans le pourtour de l'arbre, ce qui fait que l'épaisseur de l'aubier est inégale.

8. Puisque l'aubier se compose de couches qui ont poussé dans les dernières années, il doit être moins dur et moins solide que le cœur de bois, mais il peut devenir aussi dur quand l'arbre est en parfaite maturité. L'aubier doit être soigneusement enlevé des pièces qui doivent être mises en œuvre, non-seulement parce qu'il est plus tendre et moins résistant que le cœur de bois, mais surtout parce qu'il est extrêmement susceptible de se corrompre.

9. L'écorce n'ajoute rien à la résistance du bois, et elle en accélère la pourriture lorsqu'il est exposé aux intempéries de l'air : elle doit donc être enlevée avec soin, aussi bien que l'aubier, dès que l'arbre est abattu.

10. Les arbres ne croissent pas indéfiniment : arrivés à un certain âge, la sève ne se porte plus vers le cœur, qui commence dès-lors à se dessécher; elle abandonne insensiblement les couches ligneuses, pour ne plus se porter que faiblement vers l'écorce et pour bientôt cesser d'agir. L'arbre va en dépérissant à mesure que la sève ralentit son action, et finit par mourir et sécher complètement sur pied, lorsque la sève cesse de le nourrir.

11. Le bois d'un arbre parvenu à cet état de décrépitude, et, surtout, quand il est mort sur pied, a perdu toutes ses bonnes qualités : ses fibres se séparent avec facilité, ce qui le rend très-susceptible de se fendre par la seule influence de l'air ou par le moindre effort ; il n'a presque plus d'élasticité, de flexibilité, et a beaucoup moins de force de résistance que dans un âge moins avancé. Quand un arbre commence à dépérir, il est ce qu'on appelle *en retour*.

12. Voici quelles sont les marques qui annoncent, d'après Duhamel, qu'un arbre entre en retour.

« 1°. Un arbre qui forme par ses branches de la cîme une tête arrondie, » doit sûrement avoir peu de vigueur, de quelque grosseur qu'il soit ; au

» contraire, quand les arbres sont vigoureux, on voit des branches qui s'é-
» lèvent beaucoup au-dessus des autres.

» 2°. Quand un arbre se garnit de bonne heure de feuilles au printemps,
» et surtout quand, en automne, ces feuilles jaunissent avant les autres, et
» que les feuilles du bas sont alors plus vertes que celles du haut, c'est une
» marque que cet arbre a peu de vigueur.

» 3°. Quand un arbre se couronne, c'est-à-dire quand il meurt quelques
» branches du haut, c'est un signe infaillible que le bois du centre commence
» à s'altérer, et que l'arbre est en retour.

» 4°. Quand l'écorce se détache du bois, ou qu'elle se sépare de distance
» en distance par des gerçures qui se font en travers, on peut être certain
» que l'arbre est dans un état de dégradation considérable.

» 5°. Quand l'écorce est beaucoup chargée de mousse, de lichen, d'aga-
» ric ou de champignons, ou quand elle est marquée de taches noires ou
» rousses, ce signe de grande altération dans l'écorce doit faire soupçonner
» qu'elle n'est pas moindre dans le bois.

» 6°. Quand les jets sont très-courts, et même quand les couches de l'au-
» bier sont minces, ainsi que les couches ligneuses qui se sont formées en
» dernier lieu, on peut être certain que les arbres ne font plus que de
» faibles productions.

» 7°. Quand on aperçoit des écoulemens de sève par les gerçures de
» l'écorce, c'est un signe qui indique que les arbres mourront dans peu ; à
» l'égard des chancres et des gouttières, ces défauts, quelque fâcheux qu'ils
» soient dans les arbres, peuvent être produits par quelques vices locaux,
» et ils ne sont pas toujours des suites de leur vieillesse. »

13. Tant qu'un arbre est en pleine vigueur, tant qu'il continue de croître, son bois est plus dur, plus solide au cœur que vers l'aubier, et cette diminution est en progression arithmétique, d'après les observations de Buffon. Au contraire, dans un arbre en retour, le bois est moins dur au cœur que vers l'aubier : il existe donc une époque où le bois est d'une solidité uniforme dans toute son épaisseur, et c'est précisément ce que Buffon a observé. Cette époque, où la solidité du bois est uniforme, est celle où l'arbre est parvenu à sa maturité : il est donc important de choisir ce temps pour abattre un arbre, puisqu'alors l'aubier a autant de consistance que le reste du bois, ou plutôt puisque le bois est alors à peu près sans aubier : d'où l'on pourrait conclure qu'un arbre a été abattu trop tôt quand le bois a beaucoup d'aubier.

14. L'époque où un arbre est en maturité, est celle où cet arbre penche

vers le retour; de sorte que, dès qu'on aperçoit les premiers signes qu'un arbre est en retour, il faut l'abattre plus tôt que plus tard.

15. On a cru, et quelques personnes croient encore, qu'il est nécessaire que les arbres soient coupés en hiver, pour que le bois puisse se conserver long-temps, et qu'il est même nécessaire, pour cela, d'avoir égard aux phases de la lune; mais Duhamel a observé que, au contraire, les bois coupés en été se sèchent plus facilement que ceux coupés en hiver, et qu'ils sont moins sujets à pourrir dans les chantiers; quant à l'influence de la lune, il a reconnu que ce n'était qu'un préjugé sans fondement, par un grand nombre d'expériences faites exprès.

16. Le même auteur a observé,

1°. Qu'un arbre qui végète dans une forêt, pressé de toutes parts par les arbres environnans, croît beaucoup en hauteur et très-peu en grosseur;

2°. Que si l'on coupe les arbres environnans, l'arbre que l'on considère se couronne, ne croît plus en hauteur, mais il continue d'augmenter en grosseur.

Il suit de là qu'il ne suffit pas qu'un arbre se couronne pour qu'il soit en retour; il faut, de plus, que son couronnement annonce quelqu'altération.

17. M. Assenfratz a observé qu'un arbre qui végète toujours dans une forêt touffue, croît faiblement pendant les premières années : ses accroissemens annuels vont successivement en augmentant jusqu'à vingt ans; ils sont uniformes jusqu'à soixante ans, et ils vont ensuite en diminuant très-sensiblement d'intensité jusqu'à deux cents ans. Cet auteur a fait ses observations sur vingt-quatre chênes de différens âges, parmi lesquels il y en avait de deux ou trois cents ans.

18. Voilà ce qu'on sait d'une manière à peu près certaine sur la manière que les arbres croissent à la surface de la terre, mais on ignore jusqu'à quel âge un arbre peut croître sans se couronner, sans entrer en retour. « C'est » une question, dit M. Assenfratz, sur laquelle personne n'a encore écrit, » et que j'ai vainement faite aux observateurs les plus éclairés, près desquels » j'ai pu me procurer des renseignemens. » Il avait pourtant consulté tous les professeurs du Jardin du Roi et plusieurs autres académiciens. Mais cette question, utile pour ceux qui cultivent les arbres, ne l'est guère pour notre objet spécial.

19. La nature du terrain, le climat, l'exposition de la forêt, la situation des arbres dans la forêt, sont autant de causes qui influent sur la croissance des arbres, sur leur santé, et sur les qualités du bois.

« Le chêne qui végète dans un sol humide, dit M. Sganzin, donne un

» bois qu'on appelle *gras ;* il est léger, ses fibres sont molles, capables d'une » moins forte résistance que celui qui a crû dans une terre franche peu hu- » mide. Cette dernière espèce de bois est d'une belle venue, ses fibres sont » pleines, serrées, élastiques, et il se conserve long-temps.

» Lorsque, sous une légère couche de terre, l'arbre trouve un sol pier- » reux, le bois qu'il produit est de bonne qualité, mais la végétation est » plus lente.

» Ces deux dernières espèces de bois ont la propriété de prendre une cour- » bure considérable avant de rompre, tandis qu'au contraire le bois gras » éclate et se brise au moment où l'excès du fardeau qu'il supporte com- » mence à le faire plier.

» Le chêne qui végète dans les pays chauds est en général plus dur, plus » élastique que celui qui a crû dans les pays froids. L'observation établit que » les extrêmes de ces deux températures ne sont pas favorables à la crois- » sance du chêne. On ne trouve point cette espèce d'arbre dans la zone » torride ; les climats glacés n'en produisent point non plus. La température » de 40 à 45 degrés est celle qui est la plus favorable pour la sous-variété » la plus dure, celle à petits glands ; le milieu et le nord de la France et de » l'Allemagne produisent la belle sous-variété à gros glands.

» L'exposition au nord et au levant est favorable pour des terres sèches » et légères ; dans les terres fortes et humides, l'exposition au midi est celle » où le chêne végète le mieux. L'exposition au couchant est la moins fa- » vorable de toutes, quelle que soit d'ailleurs la nature du sol : c'est en » effet celle qui est la plus exposée au vent et à la pluie, circonstances qui » occasionnent aux arbres des accidens et des maladies qui altèrent la qua- » lité du bois.

» La situation de la forêt, par rapport au plus ou moins d'élévation du » sol, apporte encore quelques modifications à la qualité du bois. On re- » marque dans celles qui couronnent le sommet des montagnes, que les » arbres battus par les vents sont ordinairement tortus, rabougris ; celles à » mi-côte sont à l'abri des accidens auxquels celles placées sur les sommets » sont exposées ; la terre végétale y est d'ailleurs plus abondante, et l'obser- » vation générale établit que c'est dans cette position des forêts que crois- » sent les plus beaux arbres, les mieux filés, les plus sains.

» Dans le fond des vallées, les arbres sont également d'une belle venue, » mais le bois est ordinairement gras.

» La position de l'arbre dans la forêt apporte encore quelque différence » dans la qualité des bois. Ceux qui sont placés sur les lisières, ainsi que

» ceux qui végètent isolés et dans des places vides, acquièrent beaucoup plus » de grosseur que leurs contemporains pressés dans la forêt; mais sous cette » belle apparence les premiers donnent ordinairement un bois de mauvaise » qualité. »

C'est à Duhamel que l'on doit la plupart de ces observations. Cet auteur distingue quatre espèces de terrains : les terrains aquatiques et marécageux, qui produisent les plus mauvais bois, ceux dont les fibres sont les plus molles, les plus grasses, et qui sont les plus susceptibles de pourrir ; les terres maigres, qui fournissent des bois petits, languissans et mal filés; les terrains glaiseux, qui, quand ils sont forts, ont les mêmes défauts que les terrains aquatiques, et enfin les terrains substantiels et fertiles, peu humides, qu'il reconnaît être ceux qui fournissent les meilleurs et les plus beaux bois.

2me. LEÇON.

Des vices et des défauts des Bois.

20. Les branches qui croissent autour du tronc d'un arbre, prennent naissance au cœur du tronc, dérangent la direction naturelle des couches ligneuses, et la partie du cœur des branches qui se trouve dans l'intérieur du tronc de l'arbre que l'on appelle *nœud*, est d'une plus grande dureté que le reste, parce qu'il y a là un engorgement de sève qui est occasionné par le changement de direction que le suc nourricier est obligé de subir pour passer du tronc aux branches de l'arbre. Le changement de direction, le trouble auquel les nœuds donnent lieu dans l'ordre des fibres du bois, diminuent considérablement sa force de résistance.

On appelle *bois noueux* celui qui provient d'un arbre qui avait beaucoup de branches. Le bois noueux n'a pas la même force de résistance que celui qui est de droit fil ; il est très-difficile à travailler, à cause de l'inégalité de dureté qu'occasionnent les nœuds, et du désordre des fibres qui font éclater le bois; et lorsqu'on le débite en planches, comme les nœuds se détachent quelquefois très-facilement, il en résulte des trous dans les planches, qui les rendent très-défectueuses.

21. Quelquefois l'ordre et la direction des fibres sont tellement troublés par les nœuds et par d'autres accidens, que le bois se casse de lui-même lorsqu'on le laisse tomber de sa hauteur, après lui avoir donné la position verticale. Dans ce cas on dit que le bois est *rebour* ou *tranché*, et il est pres-

que impossible de le travailler, et surtout de l'employer aux moindres assemblages.

22. Quand les arbres sont exposés à des vents violens qui les agitent en tous sens pendant la sève, il y a des couches ligneuses qui se séparent tellement des autres, qu'on peut, par un faible effort, les en détacher tout-à-fait, et avoir, par ce moyen, une espèce de tuyau conique naturel, qui ne peut presque jamais servir à rien. Ce défaut dans les arbres est d'autant plus fâcheux, qu'il accélère la pourriture du bois, en permettant à l'eau de s'introduire et de séjourner dans les fibres intérieures, et qu'il a encore l'inconvénient d'occasionner un déchet considérable lorsqu'on débite le bois en planches ou en solives. On désigne le bois qui en est atteint, par le nom de *bois roulé.*

23. L'action de la gelée produit souvent des fentes qui vont de l'axe à la surface du tronc. Le bois qui se laisse ainsi attaquer par la gelée s'appelle *bois gelif.* Quand ces fentes, en forme de rayons, sont considérables et nombreuses, on dit que le bois est *cadrané* ou *étoilé.* Ces fentes sont très-nuisibles aux arbres sur pied, et les font mourir avant l'âge auquel ils seraient parvenus sans ces accidens. Le bois provenant de tels arbres n'est guère bon qu'à brûler.

24. Les bois, en général, ont la fâcheuse propriété de se décomposer, de fermenter, et par suite de pourrir et de se réduire enfin en terreau ou poussière brune. La cause principale de cette décomposition est l'eau qui s'introduit par des moyens quelconques dans les fibres du bois, soit pendant que l'arbre est encore sur pied, soit lorsqu'il est abattu, soit enfin lorsqu'il est en place dans les ouvrages de charpente.

Quand l'eau est introduite dans un arbre sur pied, qu'elle pénètre jusqu'au cœur et qu'elle y séjourne, elle se charge d'une certaine quantité du suc nourricier qu'elle dissout; elle fermente; elle altère peu à peu les divers composés nécessaires à l'existence du bois, en attaquant d'abord les plus décomposables, et dès-lors la corruption commence, se propage du centre à la circonférence (ou l'inverse), et descend, par couches horizontales ou par des infiltrations verticales, qui ont lieu les unes près des autres, ou des deux manières à la fois, et descend, dis-je, jusqu'au pied de l'arbre, en ne laissant subsister du tronc souvent que l'aubier et l'écorce, entre lesquels la sève continue, pendant encore quelque temps, de monter jusques dans les branches, pour faire pousser quelques feuilles sans vigueur.

L'eau s'introduit dans l'arbre par les ouvertures qu'occasionnent les branches rompues, brisées, déchirées par accident; par les fentes que font dans

l'arbre la gelée et la foudre; par le déchirement que des arbres voisins font en tombant; par les ouvertures que le frottement des voitures, la morçure de plusieurs animaux font dans l'écorce, et par les trous que les insectes font pour se nourrir ou se loger, etc.

25. Quand l'arbre est abattu, le séjour de la sève dans ses fibres suffit pour faire pourrir le bois, car cette liqueur fermente et se décompose avec une extrême facilité, surtout quand elle est aidée par une certaine élévation de température; c'est pour cela qu'il est très-essentiel d'expulser cette liqueur aussitôt que l'arbre est abattu.

Cette cause de pourriture est si anciennement connue, que Vitruve conseille d'entailler le pied des arbres un an avant de les abattre, afin de donner un écoulement facile à la sève, et l'empêcher de monter dans l'arbre.

Au lieu d'entailler le pied des arbres, ce qui les exposent à être renversés par le vent, et à déchirer les arbres voisins dans leur chute, on a imaginé de les écorcer un an avant que de les abattre, ce qui fait de même évacuer la sève, et de plus rend l'aubier plus dur et plus solide, parce que la sève qui aurait monté entre l'écorce et l'aubier se porte toute dans l'aubier, et en rend les fibres plus compactes et plus fermes. Ce procédé est depuis long-temps en usage en Angleterre et en Allemagne, et a été approuvé par Buffon et Duhamel. Au lieu d'écorcer l'arbre en entier, on s'est quelquefois contenté d'enlever au printemps une couronne d'écorce au pied de l'arbre, et en même temps de le percer d'un trou de tarrière jusqu'au centre, et il paraît que cela produit le même effet que le procédé de Vitruve, sans avoir l'inconvénient d'exposer les arbres à tomber.

L'écorcement des arbres a non-seulement l'avantage de faciliter l'écoulement de la sève, mais encore celui de la porter dans l'aubier, et de rendre celui-ci un bois plus parfait et moins susceptible de pourrir. Mais l'amiral russe Gallowin, au rapport de M. Hassenfratz, a observé que le bois des arbres écorcés n'avait plus autant de flexibilité que quand ils étaient abattus à la manière ordinaire.

26. Pour achever de purger le bois de toute la sève et de l'eau surabondante, il faut l'exposer à l'action combinée de l'air et du soleil, en inclinant les pièces le plus possible, et les soutenant par de fortes traverses horizontales sous un hangard exposé au midi, évitant que le bout inférieur touche immédiatement la terre humide. Si l'on avait un certain nombre de pièces à faire ainsi sécher, il faudrait avoir l'attention de les isoler les unes des autres, parce que si elles se touchaient, l'humidité se communiquerait de l'une à l'autre, les pièces s'échaufferaient et occasionneraient la pourriture du bois.

27. La sève des bois qui ont séjourné pendant un temps peu prolongé dans l'eau, s'évapore plus facilement que celle des bois qui n'ont pas été imbibés d'eau de cette manière; ainsi, on pourra profiter de cette remarque pour accélérer l'expulsion de cette liqueur corruptrice.

28. La chaleur seule, portée à un certain degré, peut opérer la décomposition du bois, mais cette décomposition est rare, et n'a jamais lieu à la température ordinaire.

29. Quant à la décomposition par l'eau, elle a lieu à peu près de la même manière que nous avons indiquée pour le cas où l'arbre est sur pied; seulement la propagation ne se fait pas de la même manière; elle varie suivant la position de la pièce, et suivant la manière que l'eau s'est introduite dans le bois.

30. Voici les observations que Duhamel a faites sur le même sujet (voyez son ouvrage du Transport, de la Conservation et de la Force des bois) :

« 1°. Quand on forme quelqu'obstacle à l'évaporation de la sève, le bois » tiré d'une forêt, et qui se trouve encore rempli de sève, doit avoir peu de » durée, et se pourrir plus promptement que celui qu'on a laissé se dessécher » avant que de l'enduire de quelque substance que ce soit qui puisse faire » obstacle à l'évaporation de la partie phlegmatique de la sève : j'ai rapporté » ci-devant des expériences qui le prouvent.

» 2°. L'expérience des bois verts qu'on charge d'un poids considérable, » se courbent sous cette charge, et prennent la forme d'un arc, ce qui dimi- » nue leur force, parce qu'il se trouve alors une tension inégale dans les » fibres, et que celles qui sont à l'extérieur, la courbe étant déjà fort tendue, » se trouvent, par cette courbure, dans un état de dilatation qui doit les af- » faiblir.

» 3°. Quand plusieurs pièces de bois verts sont si près l'une de l'autre » qu'elles se touchent, elles pourrissent plus promptement que quand elles » sont renfermées entre des pierres, des briques, etc., parce que la sève des » pièces voisines forme une plus grande somme d'humidité, et que cette hu- » midité se rassemble entre les pièces et augmente la cause prochaine de la » pourriture.

» 4°. Les bois extrêmement vieux et secs subsistent fort long-temps, quand » on ne les surcharge pas et quand on les tient à couvert et au sec, comme » de la menuiserie qui s'emploie dans l'intérieur des maisons; mais ces bois » se détruisent promptement quand ils se trouvent exposés à un air hu- » mide : telles sont les portes des écluses, les fonds des vaisseaux, etc.

» 5°. La pourriture fait d'autant plus de progrès, que les corps qui en » sont susceptibles sont placés dans un lieu chaud et humide, parce que

» cette position est la plus favorable à la fermentation, et par conséquent à » la putréfaction.

» 6°. Les bois tenus au sec et exposés au grand air, comme sont les char- » pentes des maisons, sont dans une position très-favorable pour leur » conservation, lorsqu'on a soin d'entretenir les couvertures.

» 7°. Les bois, au contraire, qui sont toujours dans l'eau, ou renfermés » dans de la glaise ou du sable humide, ne pourrissent jamais, de quelque » qualité qu'ils soient. J'ai vu les pilotis d'un pont qui étaient restés sous » l'eau depuis un temps immémorial, et qui étaient encore fort sains; ils » paraissaient très-durs, même étant devenus secs; mais quand on les a tra- » vaillé soit au rabot, soit à la varlope, les copeaux qui en sortaient se ré- » duisaient en petits fragmens.

» Rien ne prouve mieux que les bois, même ceux qui sont tendres, se » conservent pendant un temps très-considérable dans l'eau ou dans la terre » humide, qu'une observation que le hasard m'a fournie : en faisant une » fouille, on trouva un pilotis de sapin qui avait servi pour les fondations » d'une église tombée de vétusté et démolie depuis 80 ans : ce pilotis avait » plusieurs siècles; l'extérieur du bois était détruit inégalement, suivant que » les veines s'étaient trouvées plus ou moins tendres; mais l'intérieur était » parfaitement sain; il avait la couleur et l'odeur de résine, comme les pièces » que l'on emploie pour les mâtures. La circonstance de cette odeur de ré- » sine, qui s'était conservée dans un bois aussi vieux, m'a paru une chose » très-singulière.

» 8°. Il n'en est pas de même des bois qui sont exposés, tantôt au sec et » tantôt à l'humidité : les fibres ligneuses qui ont été tendues par l'eau, sont » ensuite resserrées par le sec; ce mouvement alternatif et continuel les fa- » tigue et les détruit; l'eau emporte avec elle, toutes les fois qu'elle s'éva- » pore, quelques-unes des parties les moins fixes du bois.

» 9°. Les bois qui restent submergés se réduisent peu à peu à rien, lors- » qu'ils sont exposés au cours de l'eau; ce fluide les use imperceptiblement, » comme ferait le frottement des corps solides, quoique le plus lentement » et souvent même dans l'eau dormante. La superficie en est détruite par » les insectes : il ne s'agit pas ici des vers à tuyaux qui détruisent les digues » de Hollande aussi bien que nos vaisseaux; j'en parlerai ailleurs : il n'est » question pour le présent que de certains petits insectes qui ne pénètrent » pas bien avant dans le bois, mais qui en endommagent tellement la super- » ficie qu'il en faut quelquefois retrancher l'épaisseur d'un pouce ou deux » lorsqu'on veut le travailler.

» 10°. Il est très-important de remarquer que les bois d'excellente qua-
» lité subsistent fort long-temps dans les positions les plus défavorables à
» leur durée : j'ai vu des portes d'écluses qui étaient encore fort bonnes,
» quoiqu'elles fussent très-anciennement construites. Il n'est pas douteux
» que les membres des vaisseaux doivent pourrir promptement, 1°. parce
» qu'ils sont renfermés entre le bordage et le vaigrage ; 2°. parce qu'en bien
» des endroits les pièces de bois se touchent ; 3°. parce que ces membres sont
» toujours dans un lieu chaud et humide ; cependant j'ai visité des vaisseaux
» construits avec d'excellent bois de Provence, dont les membres étaient
» encore très-sains, quoiqu'ils eussent cinquante ans de construction : on a
» vu des vaisseaux mal entretenus, et dans lesquels l'eau de la pluie perçait
» jusqu'à la cale, qui ont cependant subsisté très-long-temps sans pourrir,
» ce qui ne peut dépendre que de l'excellente qualité de leur bois ; et, si on
» ne peut pas fixer à dix ans la durée de la plupart des vaisseaux que l'on
» construit maintenant, on ne doit pas l'attribuer à la négligence des
» officiers qui veillent à la construction ou à l'entretien de ces bâtimens,
» mais à la mauvaise qualité des gros bois qu'on est forcé d'employer aujour-
» d'hui, comme je l'ai prouvé dans mon traité de l'*Exploitation des Bois :*
» et c'est un inconvénient auquel on n'a pas encore pu trouver de remède.

» 11°. Le bois pourri endommage celui qui se trouve dans son voisinage ;
» comme c'est une espèce de levain qui excite la fermentation, il faut y re-
» médier en retranchant ce mauvais bois le plutôt qu'il est possible. »

On conçoit combien ces observations de Duhamel sont importantes pour la conservation des ouvrages de charpente.

31. L'humidité et la chaleur n'ont pas seulement l'inconvénient de faire pourrir les bois, elles ont encore celui de faire augmenter ou diminuer les dimensions des pièces, et cet inconvénient est un de ceux qui contribuent le plus à détruire les assemblages de charpente par les efforts que leur font subir alternativement la dilatation et la contraction des bois.

Le bois sec, par sa nature, a la propriété de s'emparer d'une portion de l'eau dissoute ou suspendue dans l'air humide et de s'en pénétrer, ce qui le fait augmenter de volume ; et quand l'air devient plus sec, le bois lui rend une portion de l'eau qu'il lui avait enlevée, et il diminue de volume : ainsi quand le bois sec est en contact avec l'air atmosphérique, il s'établit entre ces deux corps un certain équilibre entre leur état hygrométrique, qui est sans cesse détruit et rétabli ; d'où il suit qu'il est très-important de soustraire les bois à l'influence des variations de l'air atmosphérique, puisque de là résultent

des tiraillemens continuels et en sens contraire dans les assemblages de charpente, qui occasionnent leur destruction.

L'action de la chaleur sur les bois est la même que celle de l'humidité : quand on chauffe le bois il augmente de volume, et quand on le refroidit il en diminue. Si l'humidité et la chaleur augmentent en même temps, le volume du bois augmente d'une manière considérable; et au contraire le volume du bois diminue d'une manière sensible quand le bois perd son humidité en se refroidissant ; mais le plus ordinairement ces deux effets sont contraires : quand la chaleur augmente, l'humidité diminue par l'évaporation de l'eau que la chaleur développe, de sorte qu'en chauffant une pièce de bois humide, dans les premiers momens elle augmente de volume par la dilatation de l'eau qu'elle contient, et par sa propre dilatation ; mais si la chaleur continue d'agir, elle fait évaporer l'eau surabondante, dessèche le bois, et alors, au lieu de le faire augmenter de volume, la chaleur le fait assez généralement diminuer. Le contraire a lieu quand le bois se refroidit en même temps qu'il acquiert de l'humidité.

32. Il suit, de ce qui précède sur la corruptibilité et la dilatabilité des bois, occasionnées par l'humidité et la chaleur, que les constructeurs doivent mettre tout en usage pour les garantir de ces deux causes de destruction.

Tant que les bois seront placés à couvert et au sec, ils seront suffisamment garantis de l'humidité ; mais s'ils sont exposés aux intempéries de l'air, pour les en préserver, il faudra les recouvrir d'un corps gras quelconque, tel que l'huile, le goudron, etc.

33. Les bois recouverts de plâtre se conservent assez bien, parce que le plâtre, étant plus hygrométrique que le bois, s'empare de l'humidité, et ne la transmet pas au bois, quand elle n'est pas trop abondante, et même, quand le bois est chargé d'humidité et que l'air est sec, le plâtre s'en empare, de sorte que le bois est assez constamment sans humidité ; aussi remarque-t-on dans les démolitions d'anciens bâtimens, que les pièces de bois qui ont toujours été recouvertes de plâtre n'ont éprouvé d'autre altération que celle d'être un peu desséchées, ce qui les rend moins fortes, mais on n'y aperçoit aucune marque de pourriture. Il y a mieux; si une pièce de bois commençait à pourrir, on arrêterait la corruption en la recouvrant de plâtre de toutes parts; de sorte que le plâtre a la propriété, non-seulement d'empêcher un bois sain de pourrir, mais encore d'arrêter la pourriture dans le bois qui commence à en être attaqué. Malheureusement le plâtre n'adhère pas fortement au bois par lui-même; mais au moyen de clous plantés dans le bois, de manière que leurs têtes ressortent de 7 ou 8 millimètres sur les faces de la

pièce, on peut les recouvrir d'un enduit durable, pourvu qu'il ait au moins un centimètre d'épaisseur, et que le plâtre soit employé comme il sera dit par la suite.

34. Le mortier de chaux et sable peut bien empêcher l'humidité extérieure de pénétrer dans le bois, mais la chaux qui entre dans sa composition attaque la surface du bois, la teint en jaune ou en rouge, et donne lieu à un commencement de corruption, qui se propage de plus en plus avec le temps.

35. Ce qui empêche encore les bois de pourrir, c'est de les laisser séjourner pendant cinq à six mois, au moins, dans une dissolution de sel marin, en ayant soin que les pièces soient toujours complètement submergées, par la raison que le bois ne se conserve que quand il est ou constamment dans l'eau, ou tout-à-fait au sec. Cette opération n'est praticable qu'aux bords de la mer, vu qu'il coûterait trop cher de faire des dissolutions salines exprès. Ce n'est pas dans la mer même qu'il faut plonger les pièces, parce que les vagues les feraient choquer les unes contre les autres, ce qui pourrait les endommager, et la vase qui se déposerait sur leur surface empêcherait au sel de s'introduire dans le bois. Il faut faire des fosses dans la terre, et y faire venir l'eau salée de la mer, après avoir disposé convenablement les pièces de bois dans le fond.

36. Les bois, indépendamment des vices et des défauts que nous avons examinés jusqu'ici, ont encore celui d'être le principal aliment des incendies, et malheureusement on n'a pu trouver jusqu'ici que de faibles moyens pour les garantir de ce fléau. Nous ne ferons mention d'aucun de ces moyens, vu qu'ils sont tous plus ou moins illusoires, et qu'ils occasionnent par conséquent des dépenses inutiles.

3me. LEÇON.

De la pesanteur spécifique et des qualités particulières des diverses espèces de bois qui sont le plus communément employées dans les constructions de charpentes.

37. La *pesanteur spécifique* d'un corps est le rapport du poids de ce corps au poids d'un autre corps de même volume, que l'on prend pour terme de comparaison. C'est le poids de l'*eau* qui sert de mesure dans la recherche de la pesanteur spécifique des autres espèces de corps.

Nous n'entrerons point ici dans le détail des diverses méthodes qu'on peut employer dans cette recherche; ces méthodes varient suivant les espèces de corps. Nous nous contenterons de dire que la meilleure, quand il s'agit du bois, est de réduire les morceaux qu'on veut expérimenter, sous le même volume ou sous des volumes dont les rapports soient faciles à déterminer exactement; de peser ensuite ces bois avec la plus grande précision, et de diviser leurs poids par celui d'un pareil volume d'eau distillée et ramenée à la température de 4°. centigrades du thermomètre : les quotiens qu'on obtiendra seront les pesanteurs spécifiques demandées.

Supposons, par exemple, qu'on veuille connaître la pesanteur spécifique d'un morceau de chêne qu'on a préalablement réduit à un décimètre cube, et que son poids soit de $0^k,9051$, comme le décimètre cube d'eau (arith., page 9) ou le litre pèse un kilogramme, il faudra diviser le poids $0,^k9051$ du décimètre cube de chêne par l'unité, ce qui revient à prendre ce nombre même pour la pesanteur spécifique du bois; d'où l'on voit que, si les bois dont on veut avoir la pesanteur spécifique sont réduits à un décimètre cube, leurs propres poids sous ce volume seront leurs pesanteurs spécifiques, celle de l'eau étant l'unité.

38. Si l'on compare entre elles les tables des pesanteurs spécifiques de divers auteurs, on trouvera des différences notables dans celles des mêmes espèces de bois, et cela est inévitable par plusieurs raisons :

1°. Parce que le bois vert est plus lourd que le bois sec, de sorte qu'il faudrait que les expériences fussent faites sur du bois également sec, pour avoir des résultats semblables, et il n'est pas aisé d'établir cette égalité de siccité.

2°. Quand même il serait facile de ramener les bois au même degré de siccité, on n'aurait pas encore des résultats égaux, parce qu'il résulte des expériences de Duhamel, de Buffon, de Mussembrock et d'autres auteurs, que le bois d'un même arbre n'a pas partout la même pesanteur spécifique : celle de la partie du bas de l'arbre est plus grande que celle du haut, et celle du cœur est plus grande que celle vers l'aubier, enfin celle du tronc est plus grande que celle des branches dans les arbres qui sont en pleine vigueur. Au contraire, dans les bois en retour, le bois pèse plus à la circonférence qu'au centre, parce que son dépérissement commençant par le centre, les altérations qu'il éprouve diminuent son poids sans faire diminuer son volume.

3°. Enfin la pesanteur spécifique varie encore en raison du terrain dans lequel l'arbre végète, et même en raison de la place qu'il occupe dans la forêt,

en supposant le terrain uniforme; le climat apporte aussi des différences sensibles à cet égard. Au reste, quand on aurait les moyens d'avoir des pesanteurs spécifiques rigoureuses et uniformes pour un degré déterminé de siccité, comme les bois mis en construction ne seraient jamais secs à ce même degré, et qu'ils offriraient entre eux d'autres différences, il n'en résulterait aucun avantage réel. Ainsi on doit regarder les pesanteurs spécifiques contenues dans le tableau qui termine cette leçon, comme suffisamment exactes, vu qu'elles sont les résultats moyens des expériences faites séparément par Mussembroeck, Duhamel, Cossigni, Varennes-Fenilles et par M. Hassenfratz. Cette table contient le poids en kilogrammes d'un décimètre cube de chaque espèce de bois dont il y est fait mention.

39. Les arbres qu'on emploie le plus communément dans les ouvrages de charpente, sont le chêne, le sapin, le mélèze, la sapinette, le pin, le châtaignier, le hêtre, le cyprès, le tilleul, le peuplier, le platane, l'allisier, l'aune, le bouleau, le merisier, le noyer, l'orme, le charme, le cornier, l'érable, le frêne, le poirier, le tremble, etc.

Les qualités les plus essentielles des bois de charpente sont d'être de grande dimension, forts, durs sans être noueux, bien droits, bien filés, les fibres bien serrées, le moins corruptibles et le plus abondans possibles. Les bois qui réunissent le plus grand nombre de ces qualités sont ceux que l'on doit préférer dans chaque pays.

40. Le chêne est le bois de charpente par excellence, celui qui réunit les qualités essentielles au plus haut degré. En France on le tire du Bourbonnais, de la Champagne, de la Bourgogne, des Vosges, etc.

Celui du Bourbonnais est très-dur, noueux, rebours, et étant flotté il est souvent rempli de graviers; sa couleur est grise; il est très-difficile à travailler, n'est point propre à faire des assemblages, et ne doit jamais être employé en menuiserie, surtout à faire des panneaux, parce qu'il est sujet à se fendre, à se gauchir, à se cofiner.

Celui de Champagne est moins dur que le précédent; il est d'une couleur jaunâtre et peut s'employer à toutes sortes d'ouvrages, même à faire des panneaux de menuiserie, lorsqu'il est bien sec, et qu'après avoir été débité en planches minces ou voliges, on l'a laissé quelque temps à l'air.

Celui qui nous vient des Vosges, de la Lorraine, est trop tendre pour la charpente, mais il est propre aux ouvrages de menuiserie qui sont à l'abri des injures de l'air et de l'humidité. Le grain de ce bois est large et poreux; et il n'a pas beaucoup de nœuds. Ce bois est moins propre à faire des assem-

blage qu'à des ornemens de moulures et de sculpture, parce qu'il est trop gras et cassant.

Le chêne de Fontainebleau est un des meilleurs pour la menuiserie, tant pour les assemblages que pour les moulures ; il est plus dur que celui des Vosges et plus tendre que celui de Champagne; il se laisse travailler facilement, il reçoit bien le poli ; mais il a le défaut d'être sujet à une espèce de vers qui y font des trous de la grosseur du doigt, sur 12 à 16 centimètres de longueur, qui ne s'aperçoivent quelquefois que quand l'ouvrage est presque fini. Il a aussi le défaut de se fendre par le milieu des planches, ce qui le rend moins propre à faire des panneaux que le bois des Vosges. Sa couleur est très-belle, et un peu plus foncée que celle de ce dernier ; son grain est plus serré, ses pores sont moins ouverts, et il serait propre à faire des panneaux s'il était refendu sur la maille. (Voyez ce qui est dit ci-après, sur la manière de débiter le bois.) Pour la charpente, au lieu du bois des Vosges et de Fontainebleau, on aime mieux ceux de Champagne, de la Bourgogne et du Bourbonnais, quand ce dernier n'est pas trop noueux et rebours, à cause que ces bois sont plus durs et plus forts.

En général, les meilleurs bois de charpente sont ceux qui proviennent des arbres de la variété qui porte des glands à longs pédicules. Les botanistes en distinguent deux sous-variétés ; la première produit la plus belle qualité de bois. Elle comprend les chênes à gros glands solitaires, ou groupés deux à deux tout au plus; la feuille est grande; le bois est liant, ferme, facile à fendre; sa couleur est d'un blanc jaunâtre; son écorce est lisse et grisâtre. Cette sous-variété croît dans les bons terrains substantieux qui ont de la profondeur. Le bois de cette première sous-variété ressemble beaucoup à celui du châtaignier par la contexture de ses fibres et par sa couleur; ce qui a souvent fait prendre d'anciennes charpentes pour avoir été faites avec du châtaignier, quoiqu'elles fussent en chêne de cette première sous-variété, à laquelle on donne le nom de *chêne blanc*, ainsi que l'ont prouvé Daubenton et Buffon. Ce bois, trop peu cultivé, est préférable à toutes les autres variétés et sous-variétés, parce qu'il se conserve très-bien; il fournit plus de cœur de bois, moins d'aubier, et ses fibres sont plus droites et plus élastiques.

La deuxième sous-variété porte de petits glands réunis par bouquets de 3, 4 ou 5 ensemble. La feuille est petite, la couleur du bois est plus foncée que celle de la première sous-variété; son écorce est moins lisse, plus grise, et présente plus de gerçures; son accroissement est lent, et elle ne croît que dans les terrains maigres dont le sol est pierreux. Son bois a une pesanteur spécifique plus grande; il est plus dur, moins droit; ses fibres sont sou-

vent torses, il est noueux, difficile à travailler, et sujet à se fendre quand il est débité.

Les autres variétés et sous-variétés du chêne ressemblent plus ou moins à celles que nous venons de décrire, et on doit les estimer d'autant plus que leurs qualités s'approchent davantage de celle de la première sous-variété, et d'autant moins qu'elles s'approchent au contraire de la seconde. Cependant il est des espèces d'ouvrages pour lesquels le bois de cette dernière sous-variété est préférable à la première, ou du moins dans lesquels on pourrait y employer ces bois durs et noueux sans inconvéniens. Au surplus, souvent l'économie exige qu'on employe le chêne qui se trouve à proximité des travaux : c'est ensuite au constructeur à tirer de ces bois le meilleur parti possible, en les disposant de la manière la plus favorable à leurs qualités particulières.

Le bois de chêne, en général, est de tous ceux qu'on emploie en charpente, celui qui résiste le mieux aux intempéries de l'air, et qui se conserve le plus long-temps dans l'eau ou enfoncé dans la terre. Ce qui l'altère le plus, c'est le passage alternatif du sec à l'humide, des ardeurs du soleil à l'imbibition des eaux de la pluie; mais ou tout-à-fait dans l'eau, ou tout-à-fait enfoncé dans la terre, ou tout-à-fait au sec et à l'abri du soleil et de la pluie, il peut durer au-delà de 5 à 600 ans.

41. Il faut se souvenir que, pour que le chêne en général soit durable, il ne faut l'employer que quand il est sec à un degré convenable; quand il est trop vert il pourrit trop facilement, et quand il est trop sec il n'a plus la même force, la même élasticité.

Le bois de chêne est sec au point convenable, quand il fait fonction d'hygromètre, c'est-à-dire quand il suit le degré d'humidité de l'air, de telle sorte que, quand l'humidité de l'air diminue, celle du bois diminue aussi, et réciproquement; la pesanteur spécifique du bois séché à ce degré est à celle du bois de même espèce et qualité fraîchement coupé, environ :: 5 : 6; de sorte que le bois frais perd à peu près un 6me. de son poids pour arriver au degré de siccité convenable.

42. Pour s'assurer si, en général, une pièce de bois est saine, il faut la scier par un bout en travers de sa longueur; si la face de la section est luisante, que la contexture des fibres soit bien homogène et bien serrée, et qu'en frappant la pièce sur cette face on entende un bruit sonore, il est presque certain que la pièce est sans défaut essentiel, si d'ailleurs elle a peu de nœuds et est bien droite. Mais si, au contraire, la face de la section est rude au toucher, si elle présente les couches ligneuses annuelles de l'arbre

très-apparentes et arrachées par la scie, et que le grain soit lâche et peu homogène, c'est un signe que le bois est en retour, surtout si le cœur commence à être attaqué. Alors, en frappant la pièce sur la face de la section transversale, les coups produiront un bruit sourd, qui annoncera que le bois est en mauvais état.

43. Le châtaignier est un grand et bel arbre qui croît dans les terrains sablonneux mêlés d'argile ou de terre franche. Quand le terrain est un peu humide, il produit de belles perches qu'on emploie à faire des cercles de tonneaux; mais son bois est meilleur pour la charpente, lorsqu'il pousse sur un terrain moins humide. Son écorce et son bois ressemblent assez à ceux du chêne blanc dont nous venons de parler; cependant son écorce est moins unie, et plus gercée que celle de cette variété de chêne.

44. Le sapin est un bois résineux qui croît sur les montagnes où la roche perce de toutes parts, et alors il est meilleur et plus résineux que celui venu dans un terrain humide. Il nous vient des Alpes, des Pyrénées, des Vosges. Son tronc est fort droit et très-élevé. Les couches annuelles de son bois ne sont pas d'égale consistance : chacune de ces couches se compose de deux parties dont une est assez dure et ligneuse, et l'autre tendre et poreuse, ce qui rend ce bois peu propre à certains ouvrages de menuiserie, et à résister aux intempéries de l'air quand il est refendu; mais il fournit de très-bonnes pièces de charpente, qui peuvent durer long-temps, étant garanties de l'humidité et du soleil. Sa couleur est un blanc mêlé de veines jaunes quand il est bien sec; il est sans aubier, mais il a beaucoup de nœuds très-durs, qui s'enlèvent facilement des planches de ce bois; c'est surtout celui d'Auvergne qui en a le plus : celui de Lorraine en a moins et est plus uni, plus serré. Le sapin peut durer très-long-temps complètement dans l'eau ou enfoncé tout-à-fait dans la terre humide; mais il est bientôt pourri, exposé alternativement à la pluie et au soleil.

45. Le pin est un autre arbre résineux qui croît dans toutes sortes de terrains, excepté dans ceux où se trouve une glaise trop ferme; il est plus résineux dans les terres chaudes et sèches; on en voit sur les montagnes les plus escarpées où il y a fort peu de terre. Son bois est analogue à celui du sapin, mais il est plus serré, plus élastique. On en fait des mâts de vaisseaux, des planches, des madriers pour la menuiserie, des tuyaux pour conduire les eaux, des corps de pompes, etc. On en distingue plusieurs espèces.

46. Le mélèze est une espèce de sapin que l'on confond avec le larix; mais on a observé que ces bois diffèrent en ce que 1°. le mélèze ne conserve pas ses feuilles pendant l'hiver comme le larix; 2°. il s'élève moins haut,

son bois est plus blanc, moins fort, plus résineux et plus gros que le larix ; 3°. sa résine est blanche tandis que celle du larix est moins abondante et couleur de miel, comme celle qui découle du cèdre ; 4°. le bois du larix est plus rouge, plus ferme, se tourmente moins, et ne change pas de couleur à l'air.

47. Le hêtre aime les terrains chauds et crétacés (contenant de la craie); il vient bien aussi dans les terrains secs et maigres, et même dans les terres les plus dures qui ont peu de fond; « tout lui est bon, dit Duhamel, jusqu'aux pierres et aux roches, entre lesquelles il trouve le moyen d'enfoncer ses racines : le hêtre ne craint que le tuf. » Son bois est bon à tous les ouvrages où le bois doit avoir de l'élasticité. Il est plein, dur, et fournit des pièces de charpente; mais il est sujet aux vers, et on ne parvient à l'en garantir qu'en faisant écouler sa sève le plus possible. Lorsqu'il est bien sec, il est plus sujet à se fendre et à se rompre que le chêne. Le hêtre s'emploie à la boissellerie, à quantité de petits ouvrages, et en menuiserie.

48. Le platane est un fort bel arbre, qui fait l'ornement de nos promenades et des allées de nos grands jardins. Son bois ressemble à celui du hêtre, et est au moins aussi dur; on l'emploie en menuiserie, et il fournit de belles pièces de charpente.

49. Le charme est fort blanc et très-dur : on l'emploie pour faire les dents des roues, dans les machines, et partout où il y a des frottemens; cet arbre est commun et n'est pas d'une belle venue, ce qui fait qu'on ne l'emploie guère en charpente, et encore moins en menuiserie, parce qu'il est difficile à travailler et qu'il se tourmente beaucoup; mais on en fait un grand usage dans le charronnage et dans les ouvrages de tour.

50. Le bois du marronnier d'Inde est tendre, spongieux et rebours : il sert aux layetiers pour des caisses d'emballage; les menuisiers en font des fonds d'armoires, des tablettes; enfin on emploie ce bois pour des sculptures peu recherchées.

51. L'orme est un excellent bois pour faire les pressoirs et autres grandes machines, les tables des bouchers, des charcutiers, des cuisines; pour faire les établis des menuisiers, des ébénistes, et tous les ouvrages de charronnage. On en fait usage en charpente pour les maisons rurales; la marine l'emploie pour les corps de pompe; on en fait des tuyaux pour la conduite des eaux; les artilleurs le préfèrent à tout autre bois pour les affuts des canons et des mortiers: tous ouvrages qui exigent du bois fort. Duhamel assure avoir vu du bois d'orme assez doux pour en faire des ouvrages de menuiserie. Le meilleur pour les charrons est celui qu'on nomme *tortillard.*

52. Le frêne est un grand arbre dont le tronc est fort droit. Son bois est d'abord tendre, flexible, facile à travailler; mais M. Rondelet rapporte qu'avec le temps il devient roide et fort dur. On l'emploie rarement en charpente; on le réserve pour le charronnage, pour l'artillerie, les manches d'outils; pour faire les échelles légères, et autres ouvrages qui demandent de la légèreté et de la fermeté. Les tourneurs en font une grande consommation; quand on en tire des perches, des échalas et du cerceau, on l'étête comme le saule.

53. Le faux-acacia a le bois très-dur, mais il est sujet à se fendre. On en fait de bons merrains, c'est-à-dire, on le refend en petites planches qui sont de bonne qualité, et on en fait de fort beaux ouvrages de menuiserie et de tour.

54. L'érable est un bois qui offre plusieurs espèces, dont une, qui ressemble assez au platane par ses feuilles, et que l'on appelle à cause de cela *faux-platane,* est propre à fournir des pièces de charpente; mais les érables sont meilleurs pour les ouvrages de marqueterie, de tour et de menuiserie, que pour la charpente, surtout quand ils ont long-temps langui dans leur jeunesse, parce qu'alors ils sont remplis de petits nœuds qui produisent des nuances agréables, et parce que ces espèces de bois ne se tourmentent pas. On emploie aussi l'érable à faire des montures de fusils et de pistolets.

55. Le cèdre est un des bois les plus beaux, les meilleurs et les plus incorruptibles qu'on puisse employer tant en charpente qu'en menuiserie. Sa couleur est rougeâtre; il est veiné, odoriférant, et il se travaille bien. Le cyprès a des qualités semblables.

56. Le tilleul est un bel arbre; son bois est blanc, plein, léger, liant et facile à travailler. On en fait un grand usage dans la menuiserie, dans l'ébénisterie et dans la sculpture. Les tourneurs et les charrons l'emploie beaucoup aussi. Quand il est élevé dans un terrain humide, on en fait des sabots. Il y a certaines espèces de tilleuls qui, lorsqu'elles ont été plantées dans un terrain sec, fournissent de bonnes pièces de charpente.

57. On distingue le peuplier blanc et le peuplier noir; on les emploie en menuiserie, en ébénisterie, et le blanc de Lombardie, dont le bois est le plus dur et le plus droit, est propre à la charpente, et on le débite en planches et en voliges. Le saule qu'on laisse pousser sans l'étêter a des qualités semblables.

58. L'aune est le bois qui se conserve le mieux à l'humidité, aussi on l'emploie pour les pilotis; on en fait des tuyaux pour la conduite des eaux, et les perches dont les maçons se servent pour leurs échafaudages légers sont de ce bois. Les menuisiers et les ébénistes en font un grand usage.

59. La résistance des bois est une des questions les plus importantes de la charpente, et mérite, en conséquence, d'être traitée avec beaucoup de développement. Mais comme elle embrasse une théorie qui exige des connaissances que nous n'avons pas encore données, et qu'il est indispensable de savoir ce que sont les diverses espèces d'ouvrages de charpente, pour pouvoir immédiatement appliquer cette théorie d'une manière convenable, j'ai cru devoir la faire entrer dans la partie de ce cours où il est traité de la résistance des autres corps. Cependant, je vais donner ici succinctement une idée des lois suivant lesquelles les bois résistent aux fardeaux qu'ils sont destinés à soutenir lorsqu'ils sont en place, afin de pouvoir plus facilement faire concevoir quelles sont les meilleures dispositions à donner aux pièces de bois dans chaque espèce d'ouvrages. Voici quelles sont les principales de ces lois.

60. Les bois ont la propriété de pouvoir résister, 1°. étant tirés par les deux bouts comme une corde; dans ce cas, leur résistance, qu'on appelle *absolue*, est plus grande que dans tous les autres; 2°. étant refoulés par les deux bouts parallèlement à la longueur de leurs fibres, et dans cette circonstance, quand on les empêche de fléchir, de se courber, ils sont susceptibles d'une force considérable, mais moindre que la force absolue; 3°. étant posés horizontalement et librement sur deux appuis, et chargés au milieu de leur longueur, alors leur résistance est la moindre; 4°. étant posés horizontalement, encastrés solidement par les deux bouts et chargés en leur milieu, dans ce cas, leur résistance est double de celle qu'ils ont dans le cas précédent; 5°. enfin étant inclinés à l'horizon, chargés en leur milieu, et posés librement sur deux appuis ou encastrés solidement par les deux bouts, alors leur résistance est plus grande que dans les deux derniers cas, et plus petite que lorsque les pièces sont refoulées parallèlement à la direction des fibres.

Dans les cinq cas que nous venons de rapporter, on doit entendre que les pièces sont du même bois, qu'elles ont la même forme, la même grosseur et la même longueur entre les deux points d'appui.

61. Les forces absolues de deux pièces prismatiques de bois de même espèce, sont entre elles comme les superficies des sections droites de ces prismes.

62. Les résistances de deux pièces prismatiques de même bois et de même longueur sont aussi comme les superficies des sections droites de ces pièces, quand elles sont refoulées par les deux bouts.

63. Si une pièce prismatique conserve la même base et qu'elle varie de longueur, plus sa longueur sera grande, et moins elle aura de résistance, étant refoulée par les deux bouts, à cause de sa flexibilité. Cette diminution n'est pas proportionnelle à la longueur : elle a lieu irrégulièrement.

64. Supposons une pièce prismatique à base rectangulaire, posée horizontalement et librement sur deux appuis; 1°. si la base reste la même, la résistance sera en raison inverse de la longueur entre les appuis; de sorte que, si la longueur devient 2, 3, 4...... fois plus grande, la résistance sera 2, 3, 4...... fois plus petite, et réciproquement, si la longueur devient 2, 3, 4...... fois plus petite, la résistance sera 2, 3, 4..... fois plus grande; 2°. si la longueur reste la même ainsi que l'épaisseur, et que la largeur varie, la force variera dans le même rapport; ainsi, si cette largeur est 2, 3, 4...., fois plus grande ou plus petite, la résistance sera aussi 2, 3, 4..... fois plus grande ou plus petite, et 3°. si la longueur et la largeur restent les mêmes, et que l'épaisseur varie, la résistante variera comme le carré de cette épaisseur; c'est-à-dire que, si l'épaisseur est 2, 3, 4..... fois plus grande ou plus petite, la résistance sera 4, 9, 16..... fois plus grande ou plus petite, De là résulte qu'il vaut mieux augmenter l'épaisseur que la largeur d'une pièce, puisque l'épaisseur fait augmenter la résistance dans un plus grand rapport que la largeur. C'est pour cette raison que les bois posés de champ sont plus forts que ceux posés de plat.

Nous verrons par la suite des questions fort intéressantes sur ce sujet; pour le moment, celles que nous venons d'indiquer, et qui seront rigoureusement démontrées, nous suffisent, en observant que ce que nous venons de dire sur les pièces horizontales a lieu pour celles qui sont inclinées, et pour les cas où ces pièces sont encastrées par les deux bouts, aussi bien que pour celui où elles posent librement sur deux appuis.

Je terminerai ce qui est relatif aux qualités des bois, par le tableau suivant où se trouvent réunis les noms français et latins des arbres qu'on peut employer dans la charpente et dans la menuiserie; la hauteur totale à laquelle ces arbres atteignent ordinairement, celle de leur tronc, la grandeur de leur diamètre, la nature du terrain qui convient le mieux à chaque espèce en particulier, et le poids d'un décimètre cube de chaque espèce. Ce tableau se trouve dans le traité général de charpente de M. Hassenfratz, ouvrage dont il n'a encore paru que la première partie en 1804, et qui a pour objet la théorie des bois (1). La colonne qui indique la grandeur des diamètres des troncs a été ajoutée par M. Rondelet, sans dire comment il a obtenu ces nombres. Mais comme cet auteur mérite beaucoup de confiance, je n'ai fait aucune difficulté de les adopter.

---

(1) Dans la construction de ce tableau, l'auteur a profité, comme il le dit lui-même, des renseignemens que lui ont fourni les professeurs du Jardin du Roi, quelques autres académiciens, et entr'autres Thouin, de l'Institut de France, qu'il s'était adjoint.

TABLEAU des Arbres acclimatés en France, et qui peuvent être employés dans la Charpente, dressé par M. Hassenfratz.

NOMS DES ARBRES EN FRANÇAIS.	NOMS DES ARBRES EN LATIN.	Hauteur totale des Arbres.	Hauteur du Tronc.	diamètre du Tronc.	Poids d'un décimètre cube en kilo.	TERRAIN QUI LEUR CONVIENT.
		mètres.	mètres.	centim.	kil.	
Abricotier.	Prunus armeniaca.	8 à 15	2 à 6	27	0,790	
Acacia à trois épines.	Gleditsia triacanthos.	8...15	4... 8	49	0,676	Léger, profond, sec.
Alisier commun.	Cratægus torminalis.	15...40	5...15	72	0,879	
— de Fontainebleau.	— Dentala.	15...40	5...15	»	»	Fort, argileux.
Allier.	— Aria.	15...40	5...15	60	0,739	
Amandier.	Amygdalus communis.	8...15	2... 6	36	1,102	Sec, pierreux.
Aralia épineux.	Aralia spinosa.	8...15	3... 6	»	»	Frais, bon terrain, toute
Arbre de Judée.	Cercis Siliquastrum.	8...15	3... 7	32	0,686	terre non humide.
Aubriet à fruit jaune.	Cratægus aria Burgundiaca.	8...15	3... 7	»	»	Fort, argileux.
Aune commun.	Betula alnus.	15...40	5...15	75	0,655	
— blanc.	— incana.	15...40	5...15	»	»	Humide, marécageux.
— découpé.	— laciniata.	15...40	5...15	»	»	
Bigarotier.	Prunus avium bigarella.	8...15	3... 7	»	»	Marneux et sablonneux.
Bois de Ste.-Lucie.	Prunus mahaleb.	8...15	2... 6	27	0,865	
Bonduc.	Guilandina Dioïca.	8...15	3... 7	»	»	Bon terrain.
Bouleau commun.	Betula alba.	15...40	5...15	81	0,702	Mauvais, pierreux.
— à canot.	— Nigra.	15...40	5...15	»	»	Sablonneux, substantiel,
— merisier.	— lenta.	15...40	5...15	72	0,570	humide.
Buis de Mahon.	Buxus Balearica.	8...15	3... 7	27	0,919	Sec, exposition chaude.
Catalpa.	Bignonia catalpa.	8...15	2... 5	42	0,467	Humide, léger.
Cèdre du Liban.	Pinus cedrus.	15...40	12...40	100	0,603	Sableux, élevé.
Charme commun.	Carpinus betulus.	8...15	3... 7	54	0,760	
— à feuilles de chêne.	— incisa.	8...15	3... 7	»	»	
— à fruit de houblon.	— Ostrya.	8...15	3... 7	»	»	Froid, aride.
— de Virginie.	— Virginiana.	8...15	3... 7	»	»	
— du Levant.	— Orientalis M. P.	8...15	3... 7	»	»	
Châtaignier.	Castanea.	5...40	4...15	72	0,685	
Chêne commun.	Quercus robur.	5...40	5...15	81	0,905	
— blanc du Canada.	— Alba.	5...40	5...15	90	0,842	
— de Bourgogne.	— Cerris.	15...40	5...15	75	0,764	
— du Levant.	— Œgilops.	15...40	5...15	»	»	
— rouge de Virginie.	— rubra.	15...40	5...15	81	0,587	
— à grappes.	— robur pedunculata.	15...40	5...15	»	»	
— à petit gland.	— — varietas.	15...40	5...15	»	»	Toute terre, mieux vaut un
— à feuill. cotoneuses.	— — varietas.	15...40	5...15	»	»	bon terrain.
— pyramidal.	— — varietas.	15...40	4...12	»	»	
— vert.	— ilex.	15...40	4...12	63	0,993	
— Liége.	— Suber.	8...15	2... 7	»	»	
— à feuilles de saule.	— Phellos.	8...15	3... 7	»	»	
— vert de Gramon.	— Gramuntia.	8...15	3... 7	»	»	
— à cochenille.	— coccifera.	8...15	3... 7	»	»	
— à gland comestible.	— æsculus.	8...15	3... 7	»	»	
Cormier ordinaire.	Sorbus domestica.	15...40	4...12	45	0,910	Humide, froid, terrain submergé.

NOMS DES ARBRES EN FRANÇAIS.	LATIN.	Hauteur totale des Arbres.	Hauteur du Tronc.	diamètre du Tronc.	Poids d'un décimètre cube en kilo.	TERRAIN QUI LEUR CONVIENT.
		mètres.	mètres.	centim.	kil.	
Cyprès de la Louisiane.	Cuprus disticha.	15 à 40	6 à 20	»	»	Sec, élevé, exposition chaude.
— commun pyramid.	Semper virens fastigiata.	8...15	4...10	72	0,655	
— horizontal.	— — horizontalis.	8...15	4...10	60	0,470	
Cytise des Alpes, ou faux ébenier.	Cytisus laburnum.	8...12	2... 4	»	0,933	Pierreux, léger.
Ebenier des Alpes.	Cytisus laburnum.	8...12	2... 4	30	1,054	Pierreux, léger, toute terre élevée.
Epicea.	Abiès picea.	15...40	8...30	»	»	
Epinette blanche.	— alba.	15...40	5...15	»	»	
— noire.	— nigra.	15...40	5...15	»	»	
Erable plane ou de Norwège.	Acer Platanoïdes.	15...40	5...15	»	»	Toute terre maigre, qui a du fond, sans être glaiseuse.
— lacinié.	— — laciniatum.	15...40	5...15	»	»	
— à sucre.	— saccharinum.	15...40	5...15	»	»	
— de Virginie.	— rubrum.	15...40	5...15	72	0,629	
— duret.	— opuli folium (Villars).	15...40	5...15	»	0,753	
— commun.	— campestre.	8...15	3... 7	»	0,755	
— à feuilles de frêne.	— negundo.	8...15	3... 7	»	»	
— de Crète.	— creticum.	8...15	2... 6	»	»	
— de Montpellier.	— Monspessulanum.	8...15	3... 7	»	0,729	
— jaspé.	— pensylvanicum. P.	8...15	3... 7	36	0,554	
— opale.	— opalus.	8...15	3... 7	»	»	
— Sycomore.	— pseudoplatanus.	15...40	5...15	»	»	
— panaché.	— — variegatum.	8...15	3... 7	»	»	
— tomenteux.	— Tomentosum M. P.	8...15	3... 7	»	»	
Faux acacia.	Robinia pseudo acacia.	15...40	4...15	50	0,791	Léger, sablonneux.
Févier de la Chine.	Gleditsia sinensis.	15...40	4...15	54	0,780	Léger, profond.
Frêne commun.	Fraxinus excelsior.	15...40	5...15	60	0,787	Terre humide.
— à une feuille.	— — monophilla.	15...40	5...15	»	»	
— Argenté.	— Argentea.	15...40	5...15	»	»	
— à Fleur.	— ornus.	15...40	5...15	»	»	
— — pétalles.	— — Americana.	8...15	3... 7	»	»	
— blanc de la Caroline.	— Carolina.	15...40	5...15	»	»	
— noir.	— Americana.	15...40	5...15	»	»	
— à manne.	— calabriensis.	8...15	3... 7	»	»	
Genévrier de Phénicie.	Juniperus Phenicia.	6... 8	3... 5	»	»	Toute terre; les légères sont préférables.
— de Lycie.	— Lycia.	6... 8	3... 5	»	»	
— Thurifère.	— Thurifera.	6... 8	3... 8	»	»	
Hêtre commun.	Fagus sylvatica.	15...40	5...15	72	0,720	Gras, humide.
— pourpre.	Populus alba nivea.	15...40	6...16	»	»	Maigre, crayeux, marneux.
Hypreau (1).	— purpurea.	15...40	5...15	»	0,555	
If.	Taxus baccata.	8...15	2... 6	27	0,778	Toute terre.
Laurier franc.	Laurus nobilis.	8...15	2... 6	»	0,695	Légère, exposition chaude.
— cerise.	Prunus lauro-cerasus.	8...15	3... 7	»	0,822	Légère, marneuse.
— Tulipier à gr. fleurs.	Magnolia grandi flora.	12...16	6...12	»	»	Terrain fort, frais.
— rustique.	— accuminata.	12...16	6...12	»	»	
Liége (2).	Quercus suber.	8...15	3... 7	»	1,212	Elevé, sableux, sec, chaud.
Lilas des Indes.	Melia azedarach.	8...15	2... 6	»	1,009	Toute terre substantielle.
Liquidambar.	Liquidambar stiraciflua.	8...15	2... 7	»	0,720	Bonne terre.

(1) Voyez peuplier. (2) Voyez chêne.

NOMS DES ARBRES EN		Hauteur totale des Arbres.	Hauteur du Tronc.	diamètre du Tronc.	Poids d'un décimètre cube en kilo.	TERRAIN
FRANÇAIS.	LATIN.					QUI LEUR CONVIENT.
		mètres.	mètres.	centim.	kil.	
Maronnier d'Inde.	Æsculus hyppocastanum.	15 à 40	4 à 15	92	0,657	Sableux, marneux, toute terre non humide.
— panaché.	— variegata.	15...40	4...15	»	»	
Mélèze commun.	Larix europea.	15...40	8...30	90	0,656	Froid, dur, élevé.
— du Canada.	— pendula.	15...40	8...30	»	»	
Merisier commun.	Prunus avium.	8...15	8. . 7	»	0,714	Sableux, frais.
— à fleurs doubles.	— plena.	8...15	3... 7	»	»	
— à grappes.	— padus.	8...15	8... 7	»	»	
Micocoulier occident.	Celtis occidentalis.	8...15	3... 7	»	1,003	Toute terre marneuse.
— austral.	— australis.	8...15	3... 7	»	»	
Murier blanc.	Morus alba.	8...15	3... 7	»	0,754	Toute terre sablonneuse.
— de Canada.	— rubra.	8...15	3... 7	»	0,893	
— noir.	— nigra.	8...15	2... 6	»	0,674	
— de la Chine.	— papyrifera.	8...15	2... 6	»	0,659	
Noyer commun.	Juglans regia.	8...15	2... 5	92	0,656	Toute terre, mieux vaut profonde, riche, grasse, ferme.
— blanc.	— alba.	8...15	2... 5	»	»	
— à fruit long vineux.	— cinerea.	8...15	2... 6	»	»	
— pacanier.	— Olivæ formis M. P.	8...15	2... 6	»	»	
— noir de Virginie.	— nigra.	8...15	2... 5	»	0,826	
Orme commun.	Ulnus campestris.	15...40	5...15	80	0,700	Marneux, frais, un peu sec.
—teille ou large feuill.	— latifolia.	15...40	5...15	»	»	
— à feuilles unies.	— glabria.	15...40	5...15	»	»	
— à bois dur.	— americana.	15...40	5...15	»	»	
— à feuilles crénelées.	— polygana R.	15...40	5...15	»	»	
— de Hollande.	— campestris fungosa.	15...40	4...15	»	»	
Pêcher.	Amygdalus persica.	8...15	3... 7	»	0,748	Léger, sableux.
Peuplier blanc.	Populus alba.	15...40	6...20	»	0,629	Gras, humide, marécageux.
— hyprean.	— nivea.	15...40	6...16	»	»	
— noir.	— nigra.	15...40	6...20	»	0,478	
— d'Italie.	— — Italica.	15...40	7...20	81	0,398	
— de la Caroline.	— Angulata.	15...40	6...20	»	0,419	
— Baumier.	— Balsamifera.	15. .40	6...20	»	»	
— d'Athènes.	— Græca.	15...40	5...15	»	»	
— de Canada.	— Canadensis.	15...40	6...20	»	»	
— Hétérophille.	— heterophilla.	15...40	6...20	»	»	
— Liart.	— candicans.	15...40	6...20	»	0,534	
Pin sauvage.	Pinus sylvestris.	15...40	5...15	87	0,621	Sableux, montueux, sec.
— Mugho.	— Montana.	15...40	5...15	»	»	
— de Virginie.	— Virginiana.	15...40	5...15	»	»	
— blanc.	— strobus.	15...40	6...20	»	0,680	
— Laritio.	— altissima.	15...40	7...20	»	»	
— de Genève.	— Pinaster.	15...40	5...15	»	»	
— maritime.	— maritima.	15...40	5...15	»	»	
— cultivé.	— pinea.	8...15	4...10	»	0,570	
— de Tartarie.	— Tartarica.	8...15	4...10	»	»	
— tœda.	— tæda.	8...15	4...10	»	»	
Plane (1).	Acer pseudoplatanus.	15...40	5...15	75	0,622	Glaiseux, profond.
Plaguemiuier d'Italie.	Diospyros lotus.	8...15	3... 7	»	»	Sec, sableux.
— de Virginie.	— Virginiana.	8...15	3.. 7	»	»	

(1) Voyez Erable.

NOMS DES ARBRES EN FRANÇAIS.	LATIN.	Hauteur totale des Arbres.	Hauteur du Tronc.	diamètre du Tronc.	Poids d'un décimètre cube en kilo.	TERRAIN QUI LEUR CONVIENT.
		mètres.	mètres.	centim.	kil.	
Platane d'Orient.	Platanus Orientalis.	15 à 40	5 à 15	96	0,538	Sec.
— d'Occident.	— Occidentalis.	15...40	5...15	90	0,719	Humide.
Poirier sauvage.	Pyrus sylvestris.	10...18	3... 7	36	0,706	Toute terre, bonne, fraîche.
Pommier sauvage.	Malus silvatica.	8...15	2... 6	33	0,735	
Prunier.	Prunus domestica.	8...15	2... 6	30	0,762	
Ptelea.	Ptelea trifoliata.	8...15	3... 7	»	0,638	Bonne terre.
Sapin argent.	Pinus abies.	15...40	8...50	120	0,486	Sableux, sec, marneux, élevé.
— Baumier.	— balsamea.	15...40	8...30	»	»	
Sapinette du Canada.	— Canadensis.	8...15	5...12	»	»	
Sassafras.	Laurus sassafras.	15...40	5...15	»	0,643	Marneux, humide.
Saule commun.	Salix alba.	15...40	6...15	30	0,448	Humide, marécageux.
— à feuilles unies.	— triandra.	15...40	6...15	»	»	
— — odorantes.	— pentandra.	8...15	3... 7	»	»	
— — d'amandier.	— amygdalina.	8...15	3... 7	»	»	
— cassant.	— fragilis.	8...15	3... 7	»	»	
— pourpre.	— purpurea.	8...15	3... 7	»	»	
— osier jaune.	— vitellima.	8...15	3... 7	»	»	
— — rouge.	— rubens.	8...15	3... 7	»	»	
— auriculé.	— auriculata.	8...15	3... 7	»	»	
— de Babylone.	— Babylonica.	8...15	3... 7	»	0,507	
Sycomore comm. (1).	Acer psendoplatanus.	15...40	5...15	72	0,674	Froid, glaiseux.
Sorbier des oiseaux.	Sorbus occuparia.	8...15	3... 7	42	0,739	Toute terre fraîche.
— de Laponie.	— Hybrida.	8...15	3... 7	»	»	
Tilleul commun.	Tilia sylvestris.	15...40	5...15	66	0,549	Humide, marécageux, marneux, sableux.
— de Hollande.	— Europæa.	15...40	5...15	»	»	
— d'Amérique:	— Americana.	15...40	5...15	»	»	
— de la Caroline.	— Carolina pubescens.	8...15	3... 7	»	»	
Tremble.	Populus tremula.	15...40	5...15	»	0,526	Gras, humide.
Tulipier.	Liriodendrum tulipifera.	15...40	5...15	70	0,477	Gras, humide.
Vernis du Japon.	Ailanthus glandulosa.	8...15	3... 7	36	0,820	Toute terre.

(1) Voyez Erable.

4me. LEÇON.

De l'Exploitation, de l'Equarrissage, du Débit et du Transport des Bois.

Je crois utile, afin de compléter ce qui est relatif aux bois, d'ajouter encore ici une explication succincte de l'exploitation, du débit et du transport des bois, non que cela nous soit absolument nécessaire, mais pour ne pas ignorer ce qu'on doit observer à cet égard.

65. Il y a trois manières d'exploiter les forêts : celle en taillis, celle en futaie et celle en éclairci.

La première consiste à couper les arbres à rase-terre tous les 20, 25 ou 30 ans, sans déraciner les souches, pour qu'elles puissent produire de nouveaux jets qui poussent, l'année suivante, entre l'écorce et l'aubier; de sorte qu'au bout de 20, 25 ou 30 ans après, on ait une nouvelle coupe sur les mêmes souches. A chaque coupe nouvelle, on se conduit de même, jusqu'à ce que les souches étant épuisées par l'âge ou pourries par les eaux pluviales, qui s'infiltrent par les fentes et les gerçures qui se font sur le dessus, ne soient plus capables de produire de beaux jets. Quelquefois, pour garantir les nouvelles pousses, on ne coupe les arbres qu'à environ deux mètres au-dessus du sol, et dans ce cas on dit que l'exploitation a lieu par *hauts taillis*.

L'exploitation par taillis, soit *bas*, soit *hauts*, est plus productive que les deux autres, mais elle ne laisse pas venir les arbres aussi grands qu'ils pourraient le devenir, d'où il s'ensuit que, si les lois et ordonnances sur les forêts n'obligeaient pas les propriétaires à laisser grandir un certain nombre déterminé d'arbres de différens âges, qu'on appelle *baliveaux*, on n'aurait bientôt plus de gros bois de charpente; et même, malgré ces lois, nous nous trouvons déjà dans une si grande disette à cet égard, que les gros bois nous manquent pour la marine, ce qui fait qu'on a toutes les peines du monde de s'en procurer pour les travaux publiques, et surtout pour les travaux particuliers, la marine ayant le privilège de s'emparer de tous ceux qui ont de grandes dimensions.

66. L'exploitation en futaie consiste à laisser arriver la majorité des arbres à leur maturité, et ensuite, de les abattre en les déracinant tout-à-fait. Quoique cette méthode ait l'avantage de fournir de plus grandes pièces de charpente que l'exploitation en taillis, elle n'est pas sans inconvéniens; car en abattant généralement tous les arbres de la forêt à la même époque, il s'en trouve nécessairement qui sont morts sur pied, soit de vieillesse, soit de maladie, soit par accident; d'autres qui sont seulement sur le retour, d'autres en pleine vigueur, et d'autres, enfin, qui sont trop jeunes; de sorte que les qualités des bois se trouvent mêlées ensemble, et il n'y a que les arbres qui sont en pleine vigueur, ceux qui penchent vers le retour et quelquefois ceux qui sont morts sur pied par accident, qui fournissent de bonnes pièces pour la charpente : tout le reste ne donne que des pièces de petites dimensions, ayant beaucoup d'aubier, ou ne donne que du bois à brûler.

67. C'est pour cela que, relativement à la bonne qualité du bois, la méthode par éclairci est celle que l'on doit préférer; car elle consiste à choisir

tous les ans les arbres qu'on juge être arrivés à leur maturité, et de les abattre ensuite, soit en les coupant par le pied à rase terre, soit en les déracinant. Il est évident qu'en effet cette méthode doit donner du bois de meilleure qualité, et qu'aucune pièce n'est, pour ainsi dire, perdue pour la charpente.

Quant aux moyens de repeupler la forêt, ou de remplacer les arbres abattus par éclairci, ils sortent tout-à-fait de notre sujet; ils sont entièrement du ressort des propriétaires et des cultivateurs. Ainsi nous ne nous en occuperons point, et nous renverrons le lecteur qui voudrait s'en instruire, aux ouvrages de Buffon, de Duhamel, et autres auteurs qui se sont longuement occupés de cette matière.

68. Quand les arbres sont abattus, il ne faut pas tarder de couper leurs branches, d'enlever leur écorce et leur aubier, si l'on veut les garantir des vers et de la pourriture, et il ne faut pas les exposer trop tôt aux ardeurs du soleil, afin de les empêcher de sécher trop vîte, ce qui les ferait fendre. Il est très-utile aussi, pour la conservation du bois, de procéder de suite à l'équarrissage dans la forêt même, quand les localités ne s'y opposent pas.

69. L'équarrissage du bois n'offre aucune espèce de difficulté : c'est un travail plus fatigant que difficile. Les hommes chargés de ce travail s'appellent *bûcherons;* quand le bois à enlever est susceptible d'une valeur plus grande que le bois à brûler, on fait l'équarrissage à la scie-de-long.

En équarrissant les troncs d'arbres, on doit avoir égard à l'usage auquel ils sont propres : ceux qui sont bien droits et de belles dimensions, on les conserve pour la charpente, et on les dresse sur quatre faces d'équerre entre elles; ceux qui ont naturellement une certaine courbure et qui sont bien sains, on les équarrit suivant cette courbure, et on les réserve pour la construction des vaisseaux, et pour celle des ponts et des voûtes en bois cintrés. Ces bois courbes sont très-précieux pour tous les ouvrages où il faut cintrer le bois, parce que, quand les pièces sont de droit fil, en enlevant le bois nécessaire pour former la courbe, on tranche les fibres du bois, et par là, on diminue considérablement sa force de résistance, ainsi qu'il est facile de le concevoir. Mais si ces bois courbes ne sont pas jugés de bonne qualité, on les scie avant de les équarrir, aux endroits qu'on juge convenable, pour que les tronçons puissent être dressés sans une trop grande perte de bois. Tout ceci regarde particulièrement le chêne et les bois analogues; quant au sapin, au pin, au melèze, et autres bois résineux, on les livre souvent au commerce sans être équarris.

70. Quand on destine le bois pour la menuiserie et pour la charpente

légère, on le débite en planches dont l'épaisseur varie depuis 5 millimètres jusqu'à 10 centimètres, et la largeur depuis 16 jusqu'à 30, 35 centimètres, et rarement au-delà. Quant à la longueur, elle est variable entre 2 et 6 ou 7 mètres. Les planches, dont l'épaisseur est au-dessus de 5 centimètres, prennent le nom de *madriers* ou de *plateaux*.

Suivant qu'il est plus ou moins avantageux, soit pour la bonne qualité des résultats, soit pour un plus grand produit, on débite le bois en solives, en chevrons, ou en membrures de porte pour la menuiserie. Les plus gros chevrons ont 11 centimètres de largeur et autant d'épaisseur; les moindres ont 8 centimètres de côté. Quant aux solives, leur grosseur varie depuis 11 centimètres jusqu'à 16 sur les deux sens. Les longueurs des solives et des chevrons sont ordinairement les mêmes que celles des planches. On doit faire l'épaisseur des solives et des chevrons plus grande que la largeur. Les pièces de bois dont l'équarrissage est plus considérable que celui des grandes solives se nomment *poutrelles*, et les plus grosses *poutres*.

71. Lorsque l'on trace les lignes, sur la tête de la pièce de bois, qui doivent servir à diriger la scie, on doit observer que le trait de scie emporte environ 5 à 7 millimètres de bois, parce que, si l'on ne tenait pas compte de cette épaisseur, les pièces débitées n'auraient pas la grosseur qu'on se proposerait de leur donner. Il faut observer en outre que les lignes de direction de la scie, sur la tête de l'arbre, lorsqu'on débite le bois en planches, soient le plus possible parallèles aux droites menées du centre à la circonférence de l'arbre, par la raison que dans ce cas les planches sont plus fortes et se tourmentent moins que lorsqu'elles sont débitées autrement. Cela s'appelle *refendre sur la maille*.

72. Si l'on observe, en effet, la structure du bois sur la tête, on verra qu'indépendamment des couches ligneuses et concentriques qui sont les accroissemens annuels en grosseur, il existe des fibres qui vont en lignes droites du centre à la circonférence, et ces fibres prennent le nom de *mailles*.

Il paraît que les mailles du bois en sont les parties les plus susceptibles de l'influence de l'humidité, et en conséquence de se gonfler ou de diminuer de volume; ce qui fait que lorsque les mailles sont perpendiculaires aux grandes faces des planches, ces dernières se tourmentent, et prennent une courbe dans le sens de leur largeur, quand elles sont libres, ce qui les rend défectueuses, et ce qui n'a pas lieu lorsqu'on les refend parallèlement à la maille. On conçoit que les planches que l'on prend dans le même arbre, ne sont et ne peuvent pas être toutes parallèles à la maille; mais si celui qui trace les bois pour les débiter est intelligent, il trouvera des dispositions qui fourni-

ront un plus grand nombre de planches suivant la maille que d'autres, soit en divisant l'arbre par quartiers, soit en prenant dans le même arbre, et des planches et des solives ou chevrons, en visant toujours au plus grand produit.

73. La scie dont on se sert pour débiter le bois est mue à bras d'hommes, par l'eau, le vent, les machines à vapeur, ou par des chevaux de manège. On pourrait aussi y employer le nouveau moteur imaginé tout nouvellement par M. Brunel, ingénieur-mécanicien français, qui a pour objet de mettre à profit la propriété qu'ont certains gaz, et particulièrement l'acide carbonique, de se condenser, étant exposés à une basse température et à une forte pression. Cette découverte a été faite dans ces derniers temps par M. Faraday, savant chimiste anglais. Les traits de scie sont toujours plus droits, mieux faits et moins coûteux quand on débite avec une scie mécanique quelconque, que par les scieurs de long; mais souvent les circonstances obligent de se servir de ce dernier moyen.

74. Une fois que les bois sont équarris ou débités, il faut les enlever de la forêt le plutôt qu'il est possible, parce que l'humidité qui y règne ordinairement les ferait pourrir promptement, et il faut les transporter sous des hangards exposés au midi, pour en former des piles en isolant les pièces (poutres, solives, chevrons, planches et madriers) de manière qu'elles ne se touchent d'aucun côté, pas même en posant les unes sur les autres, et qu'elles soient inclinées à l'horizon, pour faciliter l'écoulement de la sève et de l'humidité. De plus, il faut de temps en temps remanier ces piles, et changer de place les traverses sur lesquelles les pièces de bois sont appuyées, pour éviter toute cause de pourriture.

75. Quant aux moyens de transport, ils varient suivant les localités: tantôt c'est par le moyen de charrettes ordinaires, tantôt par celui de fardiers ou espèce de charrettes à grandes roues qui se chargent sous l'essieu, tantôt c'est par le moyen de l'eau, et tantôt en partie par les charrettes et en partie par l'eau. Dans le cas où le transport se fait par eau, on forme des *trains* ou *radeaux*, quand la rivière n'a pas beaucoup de profondeur, en réunissant un certain nombre de pièces ensemble par des crampons de fer, ou en pratiquant des trous aux extrémités des pièces, pour servir de points d'attache, ou bien on place le bois dans des bateaux dont la grandeur est proportionnée à la profondeur et à la largeur de la rivière. Les canaux de navigation sont aussi employés à cet usage. Il serait plus fastidieux qu'utile d'entrer dans de plus grands détails à ce sujet; ainsi, nous terminerons là tout ce qui est relatif aux bois, que nous avons amenés jusqu'à pied-d'œuvre.

SECTION II.

CHARPENTE DE BATIMENT.

1re. LEÇON.

Des Cloisons et des Pans de bois.

1. Les *pans de bois* sont des espèces de murs qui s'emploient dans les maisons pour en former les distributions intérieures, et quelquefois même les façades et les autres murs d'enceinte.

Les *cloisons* ne diffèrent des pans de bois que par leur épaisseur, qui est toujours moindre dans les premières que dans les derniers : celle des cloisons varie depuis 2 jusqu'à 10 cent., et celle des pans de bois depuis 10 jusqu'à 25 centimètres. Les cloisons dont l'épaisseur est moindre que 5 cent. sont du ressort de la menuiserie; les autres appartiennent à la charpente. Ces dernières se font toujours à claire-voie, et on bouche les vides qui se trouvent entre les pièces de bois qui les composent, en maçonnerie de plâtre seul, ou de plâtre et plâtras ou moëlons tendres et légers, et on recouvre le tout d'un enduit de plâtre. Dans les pays où le plâtre est rare, on fait cette espèce de maçonnerie en terre un peu grasse, mêlée avec de la paille hachée menue, pour l'empêcher de fendre. Mais ce n'est pas ici le lieu où nous devons expliquer ce genre de construction; c'est uniquement de la charpente que nous allons nous occuper.

Des Cloisons et des Pans de bois légers.

2. Exemple 1. Supposons, en premier lieu, qu'il s'agisse de faire une cloison de 5 cent. d'épaisseur et au-dessus, entre deux murs *ab*, *cd* (fig 1), et entre deux planchers dont les bouts des solives sont représentés par la lettre *e*, et supposons, de plus, que cette cloison doive être percée d'une porte *fghi*. Cela posé, voici de quelle manière on la construira :

On établira d'abord deux poteaux ou montans verticaux *fg*, *ih* pour former les jambages de la porte. Si la porte est disposée de manière que les montans qui forment les jambages répondent, haut et bas, chacun à une solive des planchers, comme cela a lieu dans notre exemple, on assemblera ces

montans à tenon et mortaise dans les solives correspondantes des planchers, afin de les fixer solidement à leur place. Il suffira que les tenons des poteaux aient 3 centimètres de longueur, et il ne faudra pas les faire plus longs, pour ne pas affaiblir les solives inutilement. Immédiatement sur les solives du plancher inférieur, on posera une traverse horizontale *kl*, qui sera scellée d'un bout *k* dans le mur *ab*; et de l'autre bout *l* assemblée dans le montant *fg* de la porte. On placera de même une traverse horizontale *tu* immédiatement sous les solives du plancher supérieur, qu'on scellera par les deux bouts dans les murs *ab*, *cd*; au droit des montans de la porte, on entaillera à demi-épaisseur, et cette traverse horizontale, et ces montans eux-mêmes, pour que ces pièces, en se croisant, viennent s'affleurer l'une l'autre.

Cela fait, suivant que l'intervalle compris entre le poteau *fg* et le mur *ab* sera plus ou moins considérable, on le divisera en 2, 3, etc. parties égales, et à chaque point de division on mettra un montant *zv*, qui viendra s'assembler à tenon et mortaise dans les deux traverses *kl*, *tu* dont nous venons de parler. Si la hauteur entre les deux planchers est un peu considérable, si elle est de 3 à 4 mètres et plus, on divisera cette hauteur en 2, 3, etc. parties égales, et à chaque point de division on mettra une traverse horizontale *nq*, qui sera scellée d'un bout dans le mur *ab*, et de l'autre assemblée à tenon et mortaise dans le montant *fg* de la porte, et, de plus, on entaillera à demi-épaisseur cette même traverse *nq* et le montant *zv*, pour que l'affleurement ait lieu, ou bien, si l'on n'avait pas du bois assez long, ou que l'on en eût de courts qu'on voulût faire servir, on ne ferait aller ces traverses horizontales que d'un montant à l'autre, en les assemblant dans ces montans à tenon et à mortaise. Enfin on placera une traverse horizontale *gh* au haut de la porte, qu'on assemblera toujours à tenon et mortaise dans les montans qui forment les jambages, de manière que la hauteur *fg* soit égale à celle qu'on veut donner à la porte; quant à la disposition de la cloison du côté du mur *cd*, elle est suffisamment indiquée par la figure 1.

Les poteaux *fg*, *ih* et la traverse horizontale *gh*, constituent ce qu'on appelle l'*huisserie* de la porte; les poteaux *fg*, *ih* se nomment *poteaux d'huisserie*, et la traverse horizontale *gh* le *linteau*.

Les poteaux d'huisserie, les autres montans et les traverses auront au moins 10 centimètres de largeur, et leur épaisseur sera juste égale à celle de la cloison; toutes ces pièces de bois devront être bien équarries et dressées à vives arêtes, à la varlope, afin que leurs faces extérieures puissent rester apparentes et affleurer l'enduit en plâtre qui recouvrira les remplissages des vides laissés par ces montans et ces traverses. Ceci est très-important suivant

moi ; car j'ai observé que quand on faisait passer l'enduit sur les faces extérieures de ces bois, les contre-coups que reçoit la cloison lorsqu'on ferme les portes, ce que souvent les domestiques font avec violence, font fendre l'enduit, et le font tomber par morceaux aux endroits où sont les montans et les traverses, parce qu'il est là plus mince qu'ailleurs, et que le plâtre prend difficilement sur les faces des bois tant soit peu unies. C'est surtout aux huisseries que cette observation est applicable ; car lorsqu'on fait en plâtre les arêtes des jambages des portes, elles n'ont presque pas de durée.

Pour remplir les espaces laissés vides par les montans et les traverses, on pratique des rainures sur ces dernières, dans toute leur longueur, dans lesquelles on fait glisser des morceaux de planches de qualité inférieure, telles que celles qui proviennent de la démolition de vieux bateaux ; en les faisant approcher les unes des autres de 3 à 5 centimètres de distance. Ces morceaux de planches se trouvant ainsi engagés par les deux bouts dans les rainures pratiquées dans les traverses, on les réunit encore les unes aux autres en clouant en travers, et sur chaque face, des lattes ou des liteaux de planches très-minces, c'est-à-dire de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur, que l'on espace de 2 ou 3 centimètres les uns des autres, ainsi qu'on le voit indiqué dans le coin à gauche en haut de la figure 1. Ces lattes ou liteaux ont non-seulement l'avantage de relier les planches, mais encore celui de rendre l'enduit très-solide, en ce que le plâtre s'introduit entre les planches et derrière les lattes, de manière que les deux enduits ne font pour ainsi dire qu'un seul et même corps continu, qui enveloppe le tout avec tant de solidité, qu'une telle cloison peut durer au-delà de cent ans sans altération, étant garantie de l'humidité.

Quand la cloison ne doit avoir que 5 centimètres d'épaisseur, il faut que celle des planches soit au plus de 2 $\frac{1}{2}$ centimètres et celle des lattes de 3 à 4 millimètres au plus, pour que l'enduit puisse recouvrir les lattes sur les deux faces, d'au moins 8 millimètres d'épaisseur.

Voyons maintenant de quelle manière doivent se faire les assemblages de l'huisserie et des traverses avec les montans de notre cloison.

Description de la forme qu'on doit donner aux assemblages de la cloison précédente.

3. La figure 2 représente un morceau A de la traverse du bas de la cloison, sur le dessus duquel nous avons indiqué la rainure dans laquelle les bouts des planches doivent venir se loger. Cette rainure doit se trouver au

milieu de l'épaisseur de la traverse; elle doit avoir 3 centimètres de largeur et un centimètre de profondeur. Dans le même morceau de traverse, nous avons indiqué la mortaise dans laquelle doit entrer le tenon C du bout inférieur du montant marqué *zv* (fig. 1), dont nous avons représenté un morceau B (fig. 2), où l'on voit que nous avons indiqué une rainure sur les deux faces de l'épaisseur, des mêmes largeur et profondeur que celle des traverses. Les rainures des montans ont pour objet de relier ces montans avec les bouts des lattes et le plâtre qui viennent s'y loger de manière à ne pouvoir plus s'en détacher sans effort.

4. La figure 3 représente un autre morceau C de la même traverse inférieure de la cloison, pris sur le bout qui porte le tenon F qui entre dans la mortaise pratiquée au bas du poteau d'huisserie *fg* (fig. 1) dont nous avons représenté la partie inférieure D (fig. 3) avec la mortaise dans laquelle va se loger le tenon F, le tenon E qui doit entrer dans la solive du plancher qui est supposée sous le montant de la porte, et la rainure servant à relier ce montant avec le plâtre. On remarquera que le tenon F ne descend pas jusques en bas de la traverse, pour laisser un peu de bois au bas de la mortaise du poteau d'huisserie, afin de l'empêcher de se fendre. La dimension verticale de ce tenon n'est que les deux tiers de celle de la traverse qui le porte, et son épaisseur les trois septièmes de celle de la même traverse.

5. La figure 4 représente un morceau A du linteau de la porte, avec son tenon D, sa rainure au-dessus pour loger les bouts des planches de la cloison, et sa feuillure pour recevoir la fermeture en menuiserie. En regard du tenon du linteau se trouve représenté un morceau B du poteau d'huisserie, où l'on remarque la mortaise dans laquelle doit entrer le tenon D. Cette mortaise (ainsi que toutes celles dont il s'agit ici) ne s'enfonce que des deux tiers de la largeur du poteau, ce qui suffit pour la solidité de l'assemblage, et n'affaiblit le poteau d'huisserie que le moins possible. On observera qu'à cause de la feuillure, la longueur du tenon n'est pas la même sur les deux faces opposées du linteau; que la différence de ces longueurs est égale à la largeur de la feuillure, et que la mortaise présente un plan incliné de 45°. à l'horizon, sur lequel la partie inférieure du tenon vient s'appuyer.

6. La figure 5 représente un morceau A de la traverse supérieure de la cloison, dans laquelle nous avons indiqué l'entaille à demi-épaisseur dans laquelle doit se loger le bout supérieur de l'un des montans, dont la même figure 5 représente un morceau B, où nous avons figuré l'entaille à demi-épaisseur par le bout qui doit entrer dans celle dont nous venons de parler, ainsi que le petit tenon *m* du poteau d'huisserie, qui doit entrer dans une

mortaise pratiquée dans la solive du plancher supérieur qui répond à ce montant. S'il ne se trouvait pas de solive des planchers immédiatement sous les poteaux d'huisserie, on se contenterait des assemblages de ces pièces avec les traverses, et des scellemens de ces dernières dans les murs ; et comme nous supposons ici la traverse inférieure enfoncée dans le carrelage, et la supérieure dans l'enduit du plafond en dessous du plancher supérieur, on aura toute la solidité convenable.

Quant à la figure 6, elle représente le bout et le tenon d'une traverse placée au milieu de la hauteur de la cloison.

7. EXEMPLE 2. Supposons, en second lieu, qu'il s'agisse d'une cloison ou d'un pan de bois de 10 centimètres d'épaisseur, comprise entre deux murs *ab*, *cd* et deux planchers (fig. 7 et 8), et percée d'une porte *efgh*. Dans ce cas, on commencera par établir l'huisserie de la porte comme dans le premier exemple, avec cette seule différence, que les poteaux et le linteau auront 10 centimètres d'épaisseur comme la cloison ou le pan de bois, sur au moins 12 centimètres de largeur. Ensuite, on placera une traverse ou *sablière ik* et *lm*, l'une *ik* en bas, immédiatement sur les solives du plancher inférieur, et l'autre *lm* qui touche le dessous des solives du plancher supérieur. L'épaisseur de ces traverses sera la même que celle de la cloison, et la largeur d'environ 12 centimètres. Ces traverses et l'huisserie seront équarries et dressées à vives arètes, et assemblées à tenon et mortaise, comme nous l'avons expliqué dans le premier exemple. On remplira le vide qu'elles laissent entre elles par de petits poteaux disposés verticalement, et assemblés à tenons dans des mortaises pratiquées dans les sablières *ik*, *lm*. Ces poteaux seront des chevrons de seulement 7 centimètres d'épaisseur, afin qu'il reste $1\frac{1}{2}$ centimètre pour l'épaisseur des lattes et de l'enduit sur chaque face. Quant à la largeur de ces chevrons, elle pourra être de 8 ou 10 centimètres : si leur longueur n'était pas suffisante pour aller d'une sablière à l'autre, on interposerait une ou deux traverses dans la hauteur de la cloison, ainsi qu'on le voit dans la figure 8, où il y a une *no* de ces traverses intermédiaires.

Ces traverses intermédiaires appliquées à propos peuvent donner le moyen d'économiser le bois, en ce que la longueur des chevrons pourrait être telle, qu'en voulant les faire aller d'une sablière à l'autre, il en résultât des rognures qui resteraient sans emploi, tandis qu'en les coupant en deux ou en trois également, et en mettant une ou deux traverses intermédiaires, il pourrait se faire que les demis ou les tiers de longueur se trouvassent à peu près justes pour aller d'une traverse à l'autre, y compris la longueur des

tenons des poteaux, qu'il suffit de faire de 3 centimètres. Au surplus, les poteaux conservant la même grosseur, ils seront d'autant plus forts qu'ils seront plus courts, et par conséquent l'emploi des traverses non-seulement économise le bois, mais il rend encore les cloisons ou pans de bois plus solides. Cependant, si ces traverses intermédiaires avaient beaucoup de longueur, comme elles pourraient fléchir dans leur milieu sous un certain effort, il serait bon alors de mettre un ou deux montans dans la longueur de la cloison, de même grosseur que les poteaux d'huisserie qui iraient d'une sablière à l'autre, et dans lesquels on assemblerait les traverses intermédiaires à tenon et mortaise, ou par le moyen d'entailles à demi-épaisseur. Ces montans seraient équarris et dressés à vives-arêtes, comme l'huisserie, ainsi que les traverses intermédiaires, sur lesquelles il ne faut pas faire passer l'enduit, par la raison que nous avons donnée plus haut. Les poteaux de remplissage étant bien assemblés à tenon et mortaise, on clouera des lattes en travers sur chaque face, comme il a été dit dans le premier exemple, et la cloison sera terminée pour ce qui regarde la charpente.

8. Quant aux assemblages de ces cloisons (fig. 7 et 8), ils se feront chacun dans son espèce, comme dans le premier exemple, et si l'huisserie de la porte n'a pas de feuillure, on assemblera le linteau A (fig. 9) dans le poteau d'huisserie C, tout simplement à tenon et mortaise, ainsi que la figure 9 l'indique. Dans ce linteau A on a indiqué les mortaises dans lesquelles les tenons des petits poteaux B, qui répondent au-dessus du linteau, et qu'on appelle *potelets*, viennent se loger.

9. Exemple 3. Quelquefois au lieu de mettre une traverse intermédiaire dans la hauteur de la cloison ou pan de bois, on met une ou deux pièces de bois *r* et *s* inclinées, qui s'assemblent à tenon et mortaise dans les sablières *lm*, *ih* (fig. 10), auxquelles on donne le nom de *décharges*. Ces décharges ont l'avantage d'empêcher le balotage du pan de bois; mais comme elles coupent les poteaux obliquement, les tenons de ces poteaux qui viennent s'assembler dans les mortaises pratiquées dans les décharges sont plus difficiles à faire, et les assemblages sont moins solides, surtout quand on ne fait point de tenon aux bouts obliques des poteaux, comme on le pratique quelquefois, en se contentant de les retenir contre les décharges, par des chevilles en fer et quelquefois même en bois. On appelle *poteaux-tournisse* ceux qui sont coupés obliquement par le bout. A (fig. 11) représente un de ces poteaux tournisse, dans lequel le bout oblique B n'a pas de tenon, C étant le tenon qui entre dans l'une des mortaises de l'une des sablières *ih*, *lm*. La figure 12 est un autre poteau tournisse, dans lequel le

joint oblique porte un tenon B. Le tenon C est encore celui qui entre dans l'une des mortaises d'une sablière.

10. Exemple 4. On pourrait disposer les cloisons et pans de bois comme il est indiqué de plusieurs manières dans la figure 13, où l'on voit 1°. le trumeau *a*, qui est formé par des *poteaux de fond*, c'est-à-dire par des poteaux qui comprennent toute la hauteur entre les deux sablières; 2°. le trumeau *b*, qui est rempli par deux pièces de bois disposées en *croix de saint André*, assemblées à tenon et mortaise dans les sablières, et à demi-épaisseur, à leur rencontre *b*, ainsi qu'on le voit indiqué dans la figure 14, par un fragment de chacune des branches de cette croix; 3°. le trumeau *c*, qui est encore rempli par une croix dont un croisillon est vertical et l'autre horizontal; 4°. enfin le trumeau *d*, qui n'est fermé que par une traverse horizontale placée à demi-hauteur. Dans ces trois derniers genres de trumeaux, on pourrait ensuite remplir les espaces laissés vides par les poteaux d'huisserie et les croisillons ou traverses, par des potellets; mais quand la cloison ou le pan de bois ne porte qu'une faible charge, on peut se contenter de remplir ces vides en maçonnerie de plâtre et plâtras ou moëlons tendres, et surtout en briques, en ayant soin de relier cette maçonnerie avec les pièces de bois, au moyen de vieux clous forts, ou de *rapointis* plantés sur les côtés intérieurs de ces pièces, attendu qu'on ne pourrait pas faire usage de lattes, à cause de la trop grande étendue des vides.

11. *Remarque*. Quand les cloisons ou pans de bois sont au rez-de-chaussée, il faut élever la sablière inférieure sur une assise de parpings d'environ 0m. 80 de hauteur, pour garantir les bois de l'humidité, ainsi qu'on le voit indiqué dans les figures 10 et 13, par la lettre *p*.

12. Exemple 5. S'il arrivait qu'on eût à établir un fort pan de bois sur un plancher, et que ce pan de bois fût destiné à soutenir un autre plancher, pour reporter toute la charge sur les murs, on poserait une sablière *ab* (fig. 15) sur les solives du plancher inférieur, une autre *cd* en haut, pour recevoir et soutenir les solives du plancher supérieur, et enfin une traverse *ef* à demi-hauteur. Ces trois pièces de bois seraient scellées dans les murs, au moins de 25 centimètres de profondeur, de chaque bout. Au milieu de la longueur du pan de bois, on placerait un poteau *gh* qui s'assemblerait à tenon et mortaise dans les deux sablières *ab*, *cd*, et auxquelles il serait solidement réuni par un étrier en fer de chaque bout, dont la forme est indiquée par la figure 19, qui embrasserait la sablière, et qui serait arrêté sur les deux faces du poteau *gh*, au moyen de fortes vis ou de gros clous, et ce même poteau s'assemblerait à demi-épaisseur avec la traverse intermédiaire *ef*.

Sur les extrémités de la sablière inférieure *ab*, et en dehors, mais tout près des murs, on assemblera les bouts inférieurs de deux décharges *ik*, *lm*, dont les bouts supérieurs viendront se buter contre le poteau *gh*. On disposera deux autres décharges sur la traverse *ef*, de la même manière, qui viendront de même se buter contre le poteau *gh*. Les pieds de ces décharges ne pouvant glisser, à cause de la disposition de leur assemblage aux extrémités des traverses horizontales *ab*, *ef* (ainsi qu'on le voit indiqué dans la figure 16, où A est le bout de l'une de ces décharges, et B celui d'une traverse), et les bouts supérieurs de ces mêmes décharges saisissant le poteau *gh* de manière à l'empêcher de descendre (ainsi qu'on le voit par l'assemblage indiqué figure 17, où A représente un morceau du poteau *gh*, et B le bout d'une décharge qui vient s'assembler avec le poteau A, à tenon et mortaise, et au moyen d'un joint en coupe), les sablières *ab*, *cd* ne pourront pas fléchir, et la charge du pan de bois se portera entièrement sur les murs. Ce qui ajoutera encore à la consolidation du pan de bois, et ce qui empêchera tout-à-fait qu'il vienne charger le plancher inférieur, c'est d'entailler les poteaux de remplissage à demi-épaisseur dans les sablières, traverses et décharges que nous venons de décrire, et de bien cheviller le tout aux endroits des assemblages.

L'épaisseur des sablières, traverses et décharges devra être de 2 centimètres moindre que celle que devra avoir le pan de bois tout ravalé, quand ces pièces de bois devront être recouvertes sur chaque face par l'enduit, afin que l'épaisseur de cet enduit soit d'un centimètre d'épaisseur sur ces pièces de bois. Quant à leur largeur, elle sera au moins de 4 centimètres de plus que leur épaisseur. Le poteau *gh* du milieu sera de même grosseur; quant aux poteaux de remplissage, ils seront d'une grosseur moindre, et seront reliés par des lattes clouées en travers sur les deux faces.

13. EXEMPLE 6. Si dans les mêmes conditions que dans l'exemple précédent, le pan de bois devait être percé d'une ou de deux portes (fig. 18), alors, ne pouvant plus faire aller la sablière du bas jusques aux murs, on l'arrêterait aux poteaux d'huisserie *ab*, *cd*, lesquels poteaux monteraient de fond jusqu'à la sablière *ef*, du haut, avec laquelle ils s'assembleraient par des entailles à demi-épaisseur, ainsi qu'avec celle *ac* du bas. La traverse intermédiaire *bd* sera placée au niveau des linteaux des deux portes ou de la porte dans laquelle on assemblera deux décharges *gh*, *ik*, qui viendront se buter en joint contre un poteau *lm* situé au milieu de la longueur du pan de bois, le tout assemblé comme dans l'exemple précédent. Les poteaux d'huisserie, les sablières, la traverse servant de linteau aux portes, et le poteau *lm* du

milieu du pan de bois, auront encore une épaisseur de 2 centimètres moindre que celle du pan de bois tout ravalé, et leur largeur sera au moins de 4 centimètres plus grande que leur épaisseur. Quant aux poteaux de remplissage, ils seront d'une grosseur moindre, et seront entaillés à demi-épaisseur dans les sablières, traverses et décharges, comme dans l'exemple précédent. On aura toujours soin de bien cheviller tous les assemblages, pour que toutes les parties du système soient parfaitement bien réunies entre elles.

14. Si les solives du plancher inférieur étaient parallèles au pan de bois, on pourrait placer la sablière du bas de ce dernier dans l'épaisseur du plancher, entre deux solives, ou bien on substituerait la sablière à la solive qui se trouverait à l'endroit du pan de bois, de sorte que, dans l'un ou l'autre cas, cette sablière serait scellée par les deux bouts dans les murs, et le plancher serait moins chargé par le pan de bois que dans le cas de la figure 18.

Des Façades en pan de bois.

15. Les façades en pan de bois ont au moins 16 et au plus 25 centimètres d'épaisseur. Pour pouvoir disposer convenablement les pièces de bois qui doivent les composer, il faut dessiner la façade comme elle doit être étant finie, en observant de donner à la largeur des portes et fenêtres au moins 2 centimètres de plus que celle qu'elles devront avoir après le ravalement, afin que les poteaux d'huisserie soient recouverts d'un enduit en plâtre qui ait au moins un centimètre d'épaisseur. Cela posé, voici comment on disposera les pièces du pan de bois.

16. Exemple 1. Supposons qu'il s'agisse d'une façade telle que l'indiquent les figures 20, 21, 22 et 23.

On commencera par établir une sablière *ab* immédiatement au-dessous des pierres d'appui des fenêtres du rez-de-chaussée, laquelle sablière règnera dans toute la longueur de la façade, en observant pourtant, que s'il y a des portes, elle sera interrompue par ces dernières. Cette sablière sera posée sur une ou deux assises de parpings, qui, élevant ainsi la charpente au-dessus du sol, la préserveront de l'humidité. Sur cette même sablière on assemblera à tenons et mortaises les poteaux d'huisserie, tant des portes que des fenêtres du rez-de-chaussée, et les poteaux *ac*, *bd*, qui formeront les encoignures de la façade, et auxquels on donne le nom de *poteaux-corniers.* Tous ces poteaux s'élèveront jusqu'à la hauteur d'une seconde sablière *cd* qui comprendra la longueur de la façade, sans interruption, dans laquelle ils s'assembleront à tenons et mortaises. Cette sablière *cd* sera posée de manière

que son dessus soit au niveau du dessous des solives du premier plancher, pour qu'elle soutienne ces solives dans le cas où le plancher doit s'appuyer sur le pan de bois, ainsi qu'on le voit indiqué dans les figures 22 et 23, où l'on voit paraître les bouts des solives au-dessus de la sablière *cd*. Si, au contraire, les solives étaient parallèles à la façade, par dessus la sablière *cd* on en poserait immédiatement une autre *ef* (fig. 20 et 21), dont l'épaisseur serait égale à celle de ces mêmes solives, sur laquelle on pourrait assembler, à tenons et mortaises, les poteaux corniers et ceux d'huisserie des fenêtres du premier étage, comme l'indique la figure 20; mais il est souvent plus convenable d'en poser une autre *gh* immédiatement dessus *ef* (fig. 21), sur le dessus de laquelle on pratique les mortaises qui doivent recevoir les tenons des poteaux corniers et d'huisserie. Quand la façade soutient le premier plancher, immédiatement sur les bouts des solives de ce plancher, on pose une nouvelle sablière *gh* (fig. 22 et 23), sur laquelle viennent s'assembler comme dans les autres cas, les poteaux corniers et d'huisserie. Ces poteaux vont, comme ceux du rez-de-chaussée, s'assembler dans une sablière *ik*, qui vient soutenir les solives du second plancher. On continuerait de disposer de nouveaux poteaux corniers et d'huisserie, et de nouvelles sablières, si la maison s'élevait à un plus grand nombre d'étages. Arrivé au niveau de la corniche de couronnement, on posera, à cette hauteur, une pièce de bois *lm*, plus large que toutes les autres du pan de bois, que l'on coupera extérieurement en biseau dans le sens de la saillie de la corniche, ainsi que nous l'avons figuré dans les quatre exemples qui nous occupent en ce moment.

Si la maison est à plusieurs façades, on observera de mettre les sablières de chaque étage au même niveau dans toutes les façades, et de les assembler à demi-épaisseur à leurs rencontres aux encoignures de la maison.

Ayant disposé les sablières et les poteaux corniers et d'huisserie ainsi qu'il vient d'être expliqué, il ne restera plus qu'à placer les pièces d'appui et les linteaux des fenêtres convenablement, pour avoir terminé la structure du pan de bois. Il faudra ensuite disposer les pièces de bois qui doivent servir de remplissage pour les trumeaux et les dessous d'appui. Ces remplissages peuvent se faire d'un grand nombre de manières, ainsi qu'on peut le voir, en examinant les figures 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 et 27. Je laisse au discernement du lecteur le soin de découvrir les avantages et les inconvéniens de ces divers remplissages, ce qu'il fera sans peine en observant que pour qu'ils soient convenables, il faut 1°. que les poteaux qui les composent soient plutôt courts que longs, par la raison qu'une pièce de bois posée de bout est d'autant plus forte, qu'elle est plus courte, la base restant la même; 2°. que

les poteaux corniers et d'huisserie doivent être reliés le plus solidement possible avec les autres pièces des trumeaux, pour les empêcher de se courber; 3°. que la disposition doit être telle, qu'elle permette d'employer jusqu'aux moindres morceaux de bois, par raison d'économie ; 4°. et enfin que les assemblages soient les plus simples possibles, pour qu'ils soient plus solides et qu'ils coûtent moins de main-d'œuvre. On observera, en outre, que lorsque deux pièces sont assemblées en croix, il convient mieux de les entailler à demi-épaisseur à l'endroit de leur rencontre, mais l'on pourrait quelquefois en faire une en deux morceaux qui viendraient s'assembler à tenons et mortaises dans l'autre qui serait d'une seule pièce. Dans le cas de la fig. 23, on pourrait entailler à demi-épaisseur avec les poteaux de remplissage, les traverses qui réunissent les poteaux d'huisserie, mais on peut très-bien assembler les poteaux dans ces traverses, à tenons et mortaises.

17. Exemple 2. S'il arrivait qu'il y eût une porte cochère dans la façade, comme dans les figures 24 et 25, et qu'au milieu de cette porte cochère répondît un trumeau, la sablière *ab* qui formerait le linteau de la porte cochère devrait avoir sa dimension verticale au moins un quart plus grande que la même dimension des autres sablières, et de plus, pour reporter la charge du trumeau qui répond au milieu de la porte cochère sur les poteaux d'huisserie de cette porte, on ferait régner les pièces d'appui *cd*, *ef* des fenêtres adjacentes sous ce trumeau, et sous cette pièce d'appui on disposerait trois pièces de bois *o* de manière qu'elles formassent ensemble une décharge qui transportât en effet le poids du trumeau sur les poteaux d'huisserie, ainsi qu'on le voit indiqué dans les figures 24 et 25. Du reste, l'inspection seule de ces mêmes figures suffit pour faire concevoir la disposition principale de ces deux façades, ainsi que de celle des figures 26 et 27. Quant aux grosseurs des pièces des façades en pan de bois, on les règlera ainsi qu'il suit:

L'épaisseur des sablières et des poteaux d'huisserie sera de 2 centimètres moindre que celle du pan de bois tout ravalé, pour que l'épaisseur de l'enduit sur ces pièces soit d'un centimètre sur chaque face du pan de bois. La largeur pourra égaler l'épaisseur, mais on fera mieux quand on lui donnera 2 ou 3 centimètres de plus. Les poteaux corniers auront au moins un équarrissage égal à l'épaisseur de la façade toute ravalée, et pour que les faces extérieures de ces poteaux soient recouvertes d'un centimètre d'épaisseur par l'enduit, on évidera le derrière en forme de feuillure, dans l'arête opposée à celle qui est à l'encoignure extérieure, afin que cette arête n'excède pas les faces intérieures de la façade et du pan de bois qui vient la rencontrer. Quant aux poteaux, aux décharges, aux traverses horizontales,

et aux croix de saint André qui remplissent les trumeaux, on leur donnera une largeur au moins égale à leur épaisseur, qui sera de 3 centimètres moindre que celle du pan de bois tout ravalé.

2me. LEÇON.

Des Planchers.

18. Les planchers servent de sol aux appartemens situés au-dessus du rez-de-chaussée des édifices. Leur construction consiste à disposer horizontalement des solives, des poutrelles ou des poutres d'un mur à l'autre, en les combinant et les assemblant les unes avec les autres de diverses manières.

Dans ce genre de construction, les pièces de bois sont dans les circonstances les moins favorables à leur résistance. C'est pour cela qu'on doit n'y employer que les meilleurs qualités de bois. Les bois noueux et les bois tranchés doivent surtout être rejetés. On doit choisir les pièces les plus droites, les mieux filées et les mieux équarries. Les bois de *brin*, c'est-à-dire ceux qui sont de la grosseur de l'arbre après qu'il a été dépouillé de l'aubier, sont plus forts, tout étant égal d'ailleurs, que les bois de sciage; cela vient de ce qu'en débitant les bois à la scie, on rend discontinues les couches concentriques, qui sont les accroissemens annuels en grosseur, ce qui affaiblit le bois. Ainsi on doit préférer les bois de brin au bois de sciage. Les pièces de bois de brin sont rondes ou à bases rectangulaires; mais il n'y a guères que les bois résineux qui soient ronds dans le commerce : on équarrit presque toujours les autres espèces de bois, et particulièrement le chêne, avant de les mettre en vente. Les bois ronds ne sont pas d'un emploi facile; aussi on les équarrit presque toujours avant de les mettre en œuvre, pour rendre les assemblages et les ajustemens plus convenables; d'ailleurs il y a peu de constructions en charpente où les bois ronds puissent être employés.

Dans les planchers, si les pièces de bois sont à base rectangulaire, il faut toujours placer ces pièces de manière que la grande dimension de la base soit disposée verticalement; il faut, comme disent les ouvriers, *qu'elles soient posées de champ*, parce qu'alors elles ont plus de résistance que quand elles sont posées autrement, c'est-à-dire à plat. Dorénavant nous appelerons *épaisseur* la dimension, située verticalement, de la base d'une

En supposant que l'on veuille que les solives viennent s'appuyer sur les deux murs *ab*, *dc*, on commencera par placer perpendiculairement à ces murs *ab*, *dc*, deux solives AB, CD de chaque côté de la cheminée, de manière qu'elles soient écartées des jambages de cette dernière, d'environ 16 centimètres, afin de les garantir du feu. A un mètre à partir de la face intérieure du mur *dc*, on placera, parallèlement à ce mur *dc*, une solive *pq* qui sera assemblée à tenons et mortaises dans les deux premières AB, CD, laquelle sera, de cette manière, à au moins 30 centimètres de distance en avant des jambages de la cheminée, ce qui la garantira suffisamment du feu. Ainsi l'*âtre* de la cheminée se trouvera dans le vide B*pq*D laissé du côté du mur *dc* par les solives AB, CD, que l'on appelle *solives d'enchevêtrure*, et la solive *pq*, qui porte le nom de *chevêtre*. Le meilleur moyen de remplir ce vide, afin de pouvoir établir les jambages et le foyer de la cheminée, c'est de placer un certain nombre de barres de fer plat, également espacées, et scellées d'un bout dans le mur *dc*, et de l'autre appuyées et clouées sur le chevêtre *pq*, au moyen d'un coude. Ces barres de fer sont indiquées par la lettre *v*, et leur forme est représentée par la figure 29. On observera d'en placer une tout près de chaque solive d'enchevêtrure AB, CD, ainsi qu'on le voit indiqué dans la figure 28. Par dessus ces barres de fer, qu'on nomme *bandes de trémies*, on fera une espèce de carrelage avec des carreaux ou des tuiles plates de terre cuite, qu'on recouvrira d'une aire en plâtre d'environ 3 à 4 centimètres d'épaisseur. On revêtira les faces intérieures des solives d'enchevêtrure et du chevêtre, d'un enduit de plâtre de même épaisseur, et l'âtre de la cheminée sera préparé pour l'établissement des jambages et du foyer.

Les solives d'enchevêtrure AB, CD et le chevêtre *pq* étant disposés, on divisera les distances *pq* et AC en autant de parties égales que besoin sera, pour que dans cette distance il y ait un certain nombre complet de solives ordinaires, espacées tant plein que vide, c'est-à-dire de manière que la distance comprise entre deux solives soit égale ou tant soit peu plus grande que la largeur d'une d'entre elles. Ces solives, qu'indique la lettre *y*, seront scellées par un bout dans le mur *ab*, et par l'autre bout elles seront assemblées à tenons et mortaises dans le chevêtre *pq*. La forme de ces tenons et mortaises est indiquée par la figure 30, dans laquelle A représente un morceau du chevêtre *pq*, et B un bout des solives qui viennent s'assembler dans ce chevêtre. On remarquera que le dessous D du tenon C est fortifié par un plan incliné E, que l'on appelle *renfort*. Ce renfort est indiqué aussi dans la mortaise F du morceau A du chevêtre. Enfin, on remplira les es-

paces compris entre la solive d'enchevêtrure CD et le mur *bc* (fig. 28), et entre l'autre solive d'enchevêtrure AB et le mur *ad*, par autant de solives *z* qu'il sera nécessaire, pour que l'espacement de ces solives *z* soit le même que celui des solives *y*. Ces solives *z* seront scellées par les deux bouts dans les murs opposés *ab*, *dc*, excepté celle du côté du mur *ad*, qui viendra s'assembler à tenon et mortaise à renfort, dans la petite solive *boiteuse sr*, qui laisse l'ouverture nécessaire pour le passage du tuyau *x* de la cheminée qui vient du bas. Toutes ces solives seront plus épaisses que larges, pour les rendre plus fortes, ainsi que les rectangles *n* l'indiquent dans la coupe *lmki*, où l'on voit encore les mortaises *o* pratiquées dans le chevêtre *pq*, et dans lesquelles viennent s'assembler les tenons des solives *y*.

21. Quelques architectes prétendent que de sceller toutes les solives dans les murs opposés, comme nous venons de l'indiquer, affaiblit les murs, et en conséquence ils préfèrent loger dans chacun d'eux une pièce de bois *ab*, *cd* (en plan) et *ef* (en coupe) (fig. 31), dans toute sa longueur, et des deux tiers ou des trois quarts de sa largeur, ou même de sa largeur toute entière, sur lesquelles les solives viennent s'appuyer, soit simplement dessus, soit dans des entailles carrées ou à queues d'aronde, dont la profondeur est quelquefois seulement de 2 $\frac{1}{2}$ centimètres, quelquefois du tiers et quelquefois de la moitié de l'épaisseur des solives. Les figures 32, 33 et 34 indiquent trois manières d'assembler les solives du plancher avec ces pièces logées dans les murs, pièces qui portent le nom de *lambourdes*.

Dans la figure 32, A est la lambourde logée des deux tiers de sa largeur dans le mur B, et C une solive qui vient s'appuyer simplement sur elle. Cette lambourde est coupée en chanfrein ou en *chanlate*, sur la face, pour rendre la pièce plus étroite en bas qu'en haut. Dans la figure 33, A est de même la lambourde logée dans le mur B, et C une solive qui vient s'assembler sur elle dans une entaille à queue d'aronde, dont la profondeur est du tiers de l'épaisseur de la solive. L'entrée étroite de cette entaille doit être au moins du tiers et au plus de la moitié de la largeur de la solive, et la largeur du fond doit toujours égaler celle de la solive. Enfin, dans la figure 34, A est une lambourde logée de toute sa largeur dans le mur B, C une solive assemblée de toute son épaisseur dans cette lambourde. Le morceau de solive D fait voir la forme de l'assemblage pour les solives, et *a* fait voir la forme de l'entaille dans la lambourde, qui est en partie carrée et en partie à queue d'aronde. Chaque ressaut en hauteur de cet assemblage est le tiers de l'épaisseur de la solive.

Il y a encore une manière de disposer les lambourdes, c'est de les mettre

hors des murs, mais tout-à-fait contre, et de les soutenir par des consoles en fer, ou simplement par des bouts de barres de fer scellés dans les murs, auxquels on donne le nom de *corbeaux*. Cette manière de disposer les lambourdes est indiquée en profil par la figure 35, où A est la lambourde, B le mur, C une solive, et *ab* le corbeau qui soutient la lambourde. Quant à l'assemblage des solives dans la lambourde, il peut être l'un de ceux ci-dessus expliqué.

La figure 31 indique suffisamment la disposition des solives qui convient dans le cas où l'on fait usage des lambourdes. La comparaison des figures 28 et 31 fait voir comment on doit disposer l'âtre de la cheminée, suivant la direction des solives du plancher. Le vide marqué *g* est pour le passage du tuyau d'une cheminée qui vient du bas. On remarquera que la lambourde *ab* ne se prolonge pas dans ce vide, pour que le bois ne communique pas dans le tuyau de la cheminée. Rien ne saurait excuser de faire passer des bois dans les cheminées, à quelque hauteur que ce puisse être du foyer : on conçoit, en effet, que le feu venant à prendre dans le tuyau, il se communiquerait aux pièces de bois qui le traverseraient, et bientôt l'incendie se propagerait par toute la maison; c'est ce dont on a malheureusement vu trop souvent d'exemples.

22. Suivant moi, l'emploi des lambourdes est vicieux : en effet, je n'y vois qu'un seul avantage, c'est celui de distribuer plus uniformément la charge du plancher sur la longueur des murs; mais cet avantage est loin de compenser les inconvéniens qu'il occasionne; et pour s'en convaincre, il suffit de faire attention que pour loger la lambourde des deux tiers de sa largeur, dans le mur, il faut faire une traînée dans celui-ci dans toute la longueur de la lambourde, et par conséquent substituer du bois très-compressible (vu surtout la disposition de ses fibres dans ce cas), à la pierre, qui ne l'est presque pas, et cela dans une profondeur qui est à peu près le tiers de l'épaisseur du mur. Or, il est évident qu'une pareille construction nuit beaucoup plus à la solidité du mur, que des trous pratiqués de distance en distance, dans lesquels viennent se sceller les bouts des solives du plancher, comme nous l'avons indiqué dans le premier exemple (n°. 20). D'ailleurs, à moins qu'on assemble les solives de toute leur épaisseur dans les lambourdes, comme il est indiqué dans la figure 34, il est clair qu'il n'en faudra pas moins pratiquer les mêmes trous dans le mur, pour loger les bouts des solives au-dessus des lambourdes, ce qui augmentera encore l'affaiblissement du mur, affaiblissement qui s'accroîtra par le laps de temps, à mesure que les bois se dessécheront. Il est

vrai que cet inconvénient n'a plus lieu lorsqu'on place les lambourdes en dehors du mur, sur des corbeaux en fer; mais dans ce cas la charge du plancher se porte en entier sur les corbeaux, et agit par conséquent sur ces derniers comme sur des leviers, dont l'action fatigue évidemment bien plus le mur, que quand cette charge agit verticalement sur ce dernier. D'ailleurs, ou il faut que les solives soient assemblées dans la lambourde, de manière à s'affleurer en dessous, soit par le moyen de tenons et mortaises à renfort, soit par le moyen d'entailles, comme dans la figure 34, ou bien la grosseur de la lambourde paraissant en dessous du plancher, en gâtera l'aspect, la décoration. Ainsi, la disposition de plancher du premier exemple est préférable sous tous les rapports.

23. Quelques constructeurs ayant senti l'inconvénient des lambourdes, et voulant éviter de sceller toutes les solives dans les murs, ont imaginé une autre disposition, qu'indique la figure 36, où l'on voit qu'à de fortes solives *bc*, *ed*, *fg*, *hi*, *lk*, sont assemblées par les deux bouts, à tenons et mortaises à renfort, d'autres solives, marquées *a*, disposées parallèlement aux murs, et à peu de distance en dehors, auxquelles on donne le nom de *linçoirs*. Entre les solives qui soutiennent les linçoirs, sont disposées des solives de remplissage, un peu moins fortes que les premières, qui vont s'assembler dans les linçoirs à tenons et mortaises à renfort. L'écartement de ces solives doit être le même que celui que nous avons indiqué dans le premier exemple. Ces solives de remplissage peuvent être assemblées par les deux bouts dans des linçoirs, ou seulement par un bout et scellées par l'autre dans le mur. C'est surtout au droit des baies des portes et des fenêtres, que l'on doit mettre des linçoirs, pour que les solives du plancher ne viennent pas charger les linteaux ou les plates-bandes.

Les linçoirs sont moins solides que les lambourdes, attendu qu'ils ne sont soutenus que par des tenons, et que les mortaises pratiquées dans les solives qui les soutiennent affaiblissent ces dernières.

Cependant quand les assemblages des linçoirs dans les solives qui les soutiennent sont bien faits, et qu'on ne leur fait porter que trois ou quatre solives de remplissage, on peut les employer sans trop d'inconvénient, parce qu'alors la force des bois est beaucoup moins affaiblie qu'on pourrait le croire d'abord. En effet, il sera démontré par la suite de ce cours, que les bois posés horizontalement n'ont pas besoin d'être aussi gros à leurs portées que dans le milieu de leur longueur, ce qui fait voir que les tenons peuvent suffire pour soutenir les linçoirs, et les mortaises pratiquées dans les solives de soutien étant tout près de leur portée sur le mur, n'affaiblis-

sent ces dernières solives que fort peu. D'ailleurs, les linçoirs ont un avantage qui est assez important sous le rapport de l'économie, c'est de permettre d'employer des solives qui seraient trop courtes pour aller d'un mur à l'autre, surtout quand, ayant des solives assez fortes et assez longues pour servir de soutiens, on assemble les solives de remplissage par les deux bouts dans les linçoirs, qu'on peut même écarter de 8 ou 10 centimètres des murs, si le cas l'exigeait.

Planchers composés de solives et de poutres.

24. Quand les planchers doivent résister à une charge considérable ou que leur portée devient trop grande, relativement à la force des solives que l'on peut employer, on dispose des poutres *ef* (fig. 37), de manière qu'elles s'appuient sur les deux murs opposés *ab*, *dc*, qui sont les moins écartés l'un de l'autre, et qu'elles soient distantes entre elles et des murs qui leur sont parallèles, au moins de deux mètres et au plus de quatre. L'écartement le plus généralement convenable est de trois mètres. Au surplus, l'espacement des poutres dépend de la disposition des points d'appui qui doivent les soutenir. On conçoit en effet qu'on ne peut pas faire porter une poutre sur les linteaux ou les plates-bandes des portes et des fenêtres, et qu'on ne peut pas non plus les faire traverser les cheminées, dont elles doivent être écartées d'environ 16 centimètres. On voit, d'après cela, que lors même de la composition de l'édifice, il faut penser à la disposition des poutres des planchers, et arranger les trumeaux et les cheminées de manière que les poutres se trouvent, le plus possible, convenablement espacées. Je ne prétends pas dire ici qu'il faille tout subordonner à la disposition des poutres, mais seulement que l'on doit chercher tous les moyens possibles pour que toutes les parties soient tellement coordonnées, qu'il n'en résulte jamais d'entrave dans l'exécution d'un édifice, autant que sa nature le permet. On pourrait citer plus d'un exemple où l'inobservation de ces détails par l'architecte, en composant son édifice, a occasionné des difficultés d'exécution qu'il aurait été facile d'éviter.

Les poutres étant disposées, on distribuera dessus des solives à égales distances entre elles, leur écartement étant un peu plus grand que leur largeur. Le plus grand espacement qu'on doive leur donner quand elles ont moins de 16 cent. de largeur, est de 33 à 35 cent. de milieux en milieux. Si leur longueur peut comprendre deux intervalles de poutre, il faudra en scier un certain nombre en deux, pour que les joints bout-à-bout ne soient

pas tous sur la même poutre, mais, au contraire, qu'il y ait autant de ces joints sur l'une que sur les autres.

25. Les solives peuvent poser tout simplement sur les poutres, et être arrêtées par des broches ou chevilles de fer, comme dans la figure 37, ou bien être entaillées à queues d'aronde, de la moitié, du tiers et même seulement du quart de leur épaisseur dans les poutres, comme dans la figure 38, ainsi que l'indique la figure 39, où A est un morceau de poutre qui présente les entailles à double queue d'aronde, dans lesquelles les solives viennent s'assembler, B des solives assemblées dessus, C un bout de solive avec sa queue d'aronde, qui ne comprend que la moitié de la largeur de la poutre, et D une autre solive à double queue d'aronde, qui vient poser dans son milieu sur la poutre A. Les solives C et D sont renversées, de sorte qu'il faudrait leur faire faire un quart de révolution dans le sens de leur longueur, pour les mettre à leur place sur la poutre.

26. Au lieu de faire passer les solives par dessus les poutres, on les assemble quelquefois dans ces dernières, au moyen d'entailles pratiquées sur le dessus, de manière que le dessus des solives affleure celui des poutres, ainsi qu'il est indiqué en plan et en coupe dans la figure 40. Ces entailles se font de plusieurs manières. D'abord on les fait traverser toute la largeur de la poutre, ou on ne les enfonce que du tiers de cette largeur. Dans l'un et l'autre cas, la profondeur de l'entaille est, ou de toute l'épaisseur, ou de la moitié de l'épaisseur des solives; quant à la largeur, elle est toujours la même que celle des solives. Dans la figure 41, A est un bout de poutre, et *b* la figure d'une entaille qui ne s'avance que du tiers de la largeur de cette poutre, qui a la largeur de la solive, et une profondeur égale à la moitié de l'épaisseur de cette dernière. L'entaille représentée par *a* est semblable à celle indiquée par *b*, avec cette différence qu'il y a un plan incliné qui sert de renfort, et qui descend jusqu'à la face inférieure de la solive. C est un morceau de solive qui, en lui faisant faire un quart de révolution, viendrait se loger dans cette entaille *a* par le bout D. La lettre B indique des solives qui sont toutes assemblées dans la poutre. On pourrait encore faire ces assemblages à queue d'aronde. Dans tous ces cas, il faut que les assemblages soient faits avec précision, parce que si les solives ne remplissaient pas bien les entailles pratiquées sur le dessus de la poutre, cette dernière se trouverait beaucoup affaiblie. Cet affaiblissement est presque nul, quand les solives entrent de force dans les entailles de la poutre. Afin de faciliter la pose, il faut dans ce cas étayer la poutre pour la relever un peu dans le milieu, ce qui fera ouvrir les entailles par le haut, et permettra de frapper convenablement pour faire entrer les solives à leur place.

27. Dans les trois cas qui précèdent, le dessous des poutres descend plus bas que celui des solives, ainsi qu'on le voit dans les coupes des figures 37, 38 et 40. Si l'on voulait que les faces inférieures de tous les bois du plancher fussent en affleurement, il faudrait suspendre à chaque poutre, et sur chaque côté, une lambourde pour servir d'appui aux solives. Ces lambourdes sont figurées en plan par les lettres *ab*, *cd* (fig. 42), et en coupe par *g* et *h*, entre lesquelles on voit la poutre *i* en coupe, et *kl* en plan. Ces lambourdes sont scellées par les deux bouts dans les murs, aussi bien que les poutres, et sont soutenues dans leur longueur au moyen d'étriers de fer qui passent par dessus les poutres, et qui sont écartés les uns des autres et des murs, d'environ 2 mètres. Ces étriers sont indiqués en plan par les lettres *e*, *f*, et en coupe par le contour *gih*. Leur forme est représentée, dans la figure 43, par le contour *cdef*, et mieux encore, et isolément, par la figure E.

L'assemblage des solives dans les lambourdes peut se faire de plusieurs manières, que nous avons représentées dans la figure 43. Du côté à gauche de la poutre A, on voit paraître le bout *a* d'une lambourde (cachée en grande partie par la poutre), dont la face *kl* est un plan incliné, contre lequel les solives viennent s'appuyer par un bout supposé coupé obliquement. Dans ce cas, les solives sont plus longues en haut qu'en bas, et ne sont soutenues que par la pression qu'elles exercent latéralement, en sens contraires, contre les plans inclinés des lambourdes qui sont à leurs extrémités. Cet ajustement très-simple est très-solide, quand les pressions, étant uniformes, ne peuvent occasionner aucun dérangement dans la position des poutres. La lambourde marquée BC présente deux systêmes d'entailles *g* et *h*, et un systême de mortaises *i*, dans lesquelles les solives s'assembleraient à tenons à renfort. Les entailles ne vont que jusqu'à moitié de la largeur de la lambourde, mais on les fait aller quelquefois dans toute cette largeur. On les fait aussi à queues d'aronde, soit lorsqu'elles comprennent toute la largeur de la lambourde, soit lorsqu'elles n'en comprennent que la moitié. La lettre D indique une solive assemblée dans la lambourde.

Des Poutres armées.

Quand les planchers ont une grande largeur, et qu'ils doivent résister à une charge considérable, on ne trouve pas facilement des poutres assez grosses et assez longues pour les exécuter, et dès-lors on sent le besoin de rendre assez fortes et assez longues celles qu'on a à sa disposition. Voici divers systêmes qu'on a imaginés à cet effet.

28. Le premier (fig. 44), qui est attribué à Mathurins Jousse, consiste en une poutre ordinaire AB, d'une longueur convenable, dans laquelle se trouvent assemblées à endents deux autres poutres ou fortes solives *ab*, *cd*, qui viennent s'assembler à un petit poinçon *bghc*, plus large en haut qu'en bas, pour que, au moyen d'un lien de fer *ki*, qui passe sous la poute AB et par-dessus le poinçon *bghc*, ce dernier empêche les poutres ou solives *ab*, *cd* de se soulever par les bouts *b* et *c*. D'autres liens de fer *ae*, *df* servent à empêcher que les bouts *a* et *d* des pièces *ab*, *cd* ne sortent des endents, et cette disposition donne une *poutre armée*, qui a presque la même résistance qu'une poutre d'une seule pièce qui aurait l'épaisseur *ik*. On donne des noms aux pièces d'une poutre armée ; la poutre AB s'appelle la *mèche*, et les pièces *ab*, *cd*, les *armatures*. Les armatures doivent avoir la même largeur et, lorsque cela est possible, la même épaisseur que la mèche.

Il vaut mieux de supprimer le poinçon *aghc* (fig. 44), et faire joindre les bouts des armatures *ab*, *cd*, de manière à ce qu'elles se pressent fortement l'une l'autre, comme on le voit dans la figure 45. Pour empêcher les bouts *b* et *c* des armatures de se soulever, on peut mettre une platine de fer *bc*, qui recouvre le joint, et faire passer dessus un lien *hf* qui embrasse cette platine et la mèche AB. D'autres liens *ae*, *dg* seront d'ailleurs placés aux extrémités de la poutre armée, comme ci-dessus.

29. La figure 46 présente une poutre armée d'après un système attribué encore à Mathurin Jousse. On voit que cette poutre armée se compose d'une mèche AB, de trois armatures *ab*, *cd* et *ef*, assemblées en coupe avec les poinçons *bc*, *de* réunis par des liens de fer avec la mèche. La figure 47 représente la même poutre armée, mais dans laquelle on a supprimé les poinçons, et on a assemblé les armatures par des entailles à demi-épaisseur, de manière que l'armature du milieu recouvre les deux autres, et les empêche de s'élever, au moyen de liens en fer, comme on le voit indiqué dans la figure 47.

30. Quand une pièce de bois, posée horizontalement sur deux appuis, est chargée dans son milieu, ou uniformément dans toute sa longueur, les fibres vers la face supérieure sont en compression, tandis que celles vers la face inférieure sont en dilatation. En partant de ce fait, on a imaginé de scier les poutres AB (fig. 48) par dessus dans le mileu de leur longueur, d'un peu moins de la moitié de leur épaisseur, et de ficher fortement un coin *ab* de bois dur et bien dressé, de manière à donner une inflexion à la poutre, en la soutenant dans le milieu C et isolant ses extrémités, pendant qu'on frappe le coin. L'expérience prouve que par ce procédé on rend les poutres

plus fortes. Si l'on donnait trois coups de scie, comme dans la figure 49, et qu'on enfonçât fortement des coins de bois dur *ab*, *cd* et *ef*, on ferait prendre une plus grande courbure à la poutre, et on la fortifierait encore plus que dans le premier cas.

31. De tous les systêmes d'armatures, le plus parfait est celui indiqué par la figure 50. Ce systême se compose d'une mèche AB, et de deux armatures *ab*, *bd*, réunies par des endents ou en crémaillères, avec la mèche, et jointes bout à bout par un joint bien plan *bh*. Pour que les endents soient convenablement solides, il faut que leur profondeur *ef* soit, d'après Duhamel, le 7me. de l'épaisseur de la poutre armée. Quant à la longueur *fg* de ces endents, elle doit être au plus douze fois, et au moins six fois la profondeur *ef*. Pour bien tracer les endents des armatures, après avoir fait ceux de la mèche, on force cette dernière de prendre une certaine courbure, et pendant qu'elle la conserve, on présente les armatures à côté de la mèche, de manière que les endents de cette dernière servent à tracer ceux des armatures, pour que tous ces endents entrent si justes les uns dans les autres, que les armatures soient fortement pressées l'une contre l'autre sur le joint *bh*, et que la mèche conserve une courbure très-sensible. Ce qui ajoute encore à la force de la poutre armée, c'est de réunir les pièces qui la composent, au moyen de boulons écroués *ik*, *lm*, *no* et *pq*, ou au moyen de liens en fer, comme dans les exemples précédens.

32. Quand les poutres ne sont pas assez longues pour former les mèches d'une seule pièce, on les compose de plusieurs morceaux assemblés les uns au bout des autres à *traits de Jupiter*. La figure 51 présente une manière de faire un trait de Jupiter, dont le profil est *abcdefg* ; AB est la façade latérale de la poutre mise en place, et CD la face supérieure ou inférieure. Il ne faut jamais que CD soit la face latérale de la poutre, parce que, ainsi qu'il est facile de le concevoir, la poutre venant à fléchir, le joint s'ouvrirait vers l'arète inférieure, et l'assemblage manquerait. Il est vrai qu'on pourrait maintenir le joint par deux liens de fer, comme on le voit indiqué, mais il sera toujours mieux que la face latérale soit AB. Pour serrer le joint, on met une clef *cdef* en forme de coin très-allongé, dont la largeur *cd* doit être au moins égale à *ai*, en supposant les joints *ab*, *hg* à 45°. par rapport aux faces de la poutre. Pour rendre encore plus solide le trait de Jupiter, on pratique de petits mamelons *lm*, *pq*, dont la forme et la disposition sont indiquées dans la figure 52, qui représente en perspective les deux parties détachées du joint.

La figure 53 offre un autre trait de Jupiter pour de plus grosses poutres.

Ce trait ne diffère du précédent, qu'en ce qu'il a un plus grand nombre d'endents, et que les joints *ab*, *cd*, au lieu d'être uniformes, sont pliés, comme l'indiquent les droites brisées *efg*, *hik*, ce qu'on voit encore mieux dans la figure 54, qui est la perspective des deux parties séparées du trait de Jupiter. Enfin la figure 55 offre une autre manière de faire le trait de Jupiter, qui ne vaut pas les autres.

33. Si maintenant on voulait armer une poutre avec des bois trop courts pour faire la mèche d'une seule pièce, on réunirait bout-à-bout deux ou trois morceaux, au moyen de traits de Jupiter, comme on le voit indiqué par la figure 56, où *ab* et *cd*, *ef* et *gh* sont les arètes extérieures des joints.

Les figures 57 et 58 indiquent des poutres armées dont l'épaisseur est formée de trois épaisseurs de bois. Dans la figure 57, l'ajustement est par endents, et dans la figure 58, par dés. Les figures 59 et 60 indiquent les projections horizontales de poutres armées, dont la largeur serait formée par deux pièces accolées l'une à l'autre, au moyen d'endents ou de clefs à queues d'aronde.

En combinant ces dernières dispositions avec chacune de celles qui précèdent, on pourrait former des poutres armées de quatre ou six morceaux, qui auraient presque la même force que si elles étaient d'une seule pièce, surtout en réunissant les différens morceaux par des boulons écroués ou des liens en fer.

Des Planchers à la Serlio.

34. Serlio a imaginé un moyen très-ingénieux de faire des planchers avec des pièces de bois trop courtes pour pouvoir être scellées par les deux bouts dans les murs. Pour nous faire une idée juste de son systême, imaginons que le carré ABCD (fig. 61) soit le plan d'une salle, et qu'on ait divisé les côtés de ce plan en un même nombre de parties égales, en trois par exemple; cela posé, voici comment on disposera les poutrelles qui doivent composer la structure du plancher.

On se procurera quatre poutrelles dont la longueur sera les deux tiers de la largeur de la salle, plus la longueur d'un scellement dans les murs; on posera une *ab* de ces poutrelles par un bout *a* sur le mur AD, et l'autre bout *b* restera isolé pour un moment. Pour soutenir ce bout *b*, on posera une pareille poutrelle *cd* sur le mur DC, qui passera sous la poutrelle *ab* pour la soutenir, et qui aura le bout *d* isolé. Pour soutenir ce bout *d*, on posera une troisième poutrelle *ef* sur le mur BC, qui passera sous le bout *d* de la poutrelle *cd*, pour la soutenir, et qui aura son bout *f* isolé. Enfin,

pour soutenir ce bout *f*, on posera une quatrième poutrelle *gh*, sur le mur AB, qui passera sous le bout *f* de la poutrelle *ef*, et qui aura son bout *h* appuyé sur la première poutrelle *ab*. D'après cette disposition, il est clair que, à moins que les poutrelles ne cassent dans le milieu, tout le systême se trouvera soutenu par les murs; car la poutrelle *ab* soutenant le bout *h* de la poutrelle *hg*, celle-ci soutiendra la poutrelle *fe*, qui soutiendra à son tour la poutrelle *dc*, laquelle enfin soutiendra la première *ab*. Toutes ces poutrelles sont assemblées les unes avec les autres au moyen d'entailles à demi-épaisseur, qui ne comprennent que le tiers de la largeur des pièces.

Ces premières poutrelles ou poutres étant mises en place et assemblées les unes sur les autres, on assemble dans leurs milieux un des bouts d'autres poutrelles *hi*, *bk*, *dl* et *mf*, qui sont scellées par l'autre bout dans les murs, et dont la longueur est moitié de celle des premières poutrelles. L'ensemble de toutes ces poutrelles forme un compartiment de neuf carrés, qui formeront en dessous autant de grands caissons susceptibles de produire un grand effet, au moyen d'ornemens convenables. Pour rendre la décoration plus régulière, on disposera des linçoirs le long des murs, pour continuer les encadremens des caissons, ainsi qu'on le voit dans la figure 61. On voit dans la même figure des solives assemblées dans les poutrelles, au moyen d'entailles, qui servent à remplir les espaces laissés vides par les poutrelles. Quant à la forme des entailles, elle est la même que celles expliquées au n°. 26, sur la figure 41.

35. D'après le même systême, on peut multiplier tant qu'on veut les caissons carrés, en les faisant plus petits, soit en disposant les poutrelles parallèlement aux murs, comme dans la figure 62, soit en les disposant parallèlement aux diagonales du plan, comme dans la figure 63. Il est convenable que le nombre des caissons soit impair dans les deux cas, pour qu'il s'en trouve un au milieu du plancher, et c'est ce que nous avons observé dans les figures 62 et 63. Dans la figure 62, on disposera des linçoirs le long des murs, qui s'assembleront à tenons et mortaises dans les poutrelles du plancher qui sont scellées dans les murs, comme on le voit indiqué en projection horizontale ou en plan. Dans la figure 63, les bouts de poutrelles qui servent de points d'appui au plancher pourront simplement être scellés dans les murs, ou poser en outre sur des lambourdes encastrées dans les murs, et formant un cadre ou châssis. Ce cadre est indiqué en plan par la figure ABCD. Les bouts des poutrelles qui viennent se sceller dans les murs, attendu qu'elles se croisent, seront entaillés à demi-épaisseur. Dans ces deux exemples de planchers à la Serlio, on pourra remplir les carrés laissés vides

par les poutrelles au moyen de petits chevrons assemblés à mortaises et tenons ou à entailles dans les poutrelles, ainsi qu'on le voit indiqué en plan dans les deux figures 62 et 63, ou seulement comme nous l'avons indiqué pour deux caissons G, H, dans le plan de la fig. 62, où l'on voit deux chevrons disposés en croix grecque, et assemblés à tenons et mortaises dans les poutrelles. On emploiera cette dernière disposition lorsque les caissons seront peu grands. Quand les caissons sont très-petits, le charpentier les laisse vides.

36. D'après le système de Serlio, on peut faire divers autres compartimens d'un effet plus ou moins imposant, d'un caractère plus ou moins noble, qui sont très-propres à la décoration des grandes salles, tant des palais que d'autres grands édifices. Les figures 64 et 65 en présentent plusieurs exemples. Dans la fig. 64 on voit d'abord un compartiment composé d'un grand carré *chko* situé au milieu ; de quatre autres carrés *abcd*, *efgh*, *kilm* *onqp*, situés vers les sommets de la salle, et de quatre rectangles *dcop*, *okmn*, *kigh* et *hebc* sur les milieux des quatre côtés. Après avoir formé ce premier compartiment par les poutres ou poutrelles principales, on pourrait changer les carrés situés aux sommets de la salle, au moyen de morceaux de bois rapportés, ou en cercle, comme on le voit indiqué par des lignes ponctuées dans le carré *kilm*, ou en octogone, comme il est indiqué par des droites ponctuées *rs*, *tu*, *vx* et *yz* dans le carré *nopq*. On pourrait aussi changer les rectangles comme *dcop* en une figure mixte, ainsi que les quarts de cercle 1—2, 3—4, 5—6 et 7—8 l'indiquent. L'inspection seule de la fig. 65 suffit pour faire sentir le compartiment principal et les compartimens secondaires qu'on pourrait obtenir par des morceaux rapportés après coup. On conçoit que dans tous ces compartimens il faut observer la plus grande symétrie, et éviter des contournemens bizarres dans les ornemens en moulures qu'on y applique. Les renfoncemens des caissons, dans tous les cas, seront le résultat de la différence entre l'épaisseur des poutres ou poutrelles, et celle des solives ou chevrons, les faces supérieures de toutes ces pièces de bois étant dans le même plan horizontal : c'est ce qu'on voit indiqué dans les coupes.

37. Toujours d'après le système de Serlio, on pourrait faire des planchers en faisant usage de madriers de 5 à 8 cent. d'épaisseur sur 25 à 40 cent. de largeur, posés de champ ; mais alors il faudrait faire les caissons moins grands que lorsqu'on emploie des poutres ou poutrelles. Ces planchers seraient plus légers, et seraient susceptibles d'une grande solidité. A chaque exemple de plancher à la Serlio, on retiendra les assemblages des poutres et poutrelles

par des bandes de fer plat, entaillées de leur épaisseur *en dessous* et arrêtées avec des vis. Pour plus de solidité, on pourra mettre de ces bandes en dessus aussi bien qu'en dessous, en les arrêtant avec des vis ou les réunissant par des boulons, ainsi qu'on le voit indiqué pour le dessus en projection horizontale dans les fig. 61, 62, 63, 64 et 65.

38. On a imaginé plusieurs autres méthodes de former des planchers avec des pièces de bois de petites longueurs, dont les principales sont indiquées par les fig. 68, 69 et 70; mais ces méthodes, plus ou moins ingénieuses, n'offrent ni la même solidité ni la même facilité de décorer les planchers que celle de Serlio; cependant elles peuvent avoir quelquefois leur application, en ce qu'elles permettent de faire usage de pièces de bois de diverses longueurs et grosseurs. Dans l'exemple de la fig. 68, on a disposé les solives des encoignures de trois manières différentes; la meilleure est celle de l'encoignure A. Celle de l'encoignure B est la plus mauvaise, en ce que la pièce *ab*, qui soutient d'ailleurs le quart du reste du plancher, supporte encore la moitié du poids des solives qui sont dans cette encoignure B. La manière de disposer les solives indiquée dans les encoignures C et D ne vaut guère mieux; le reste de la disposition du plancher se conçoit facilement. L'assemblage des pièces EF, IK avec la poutre GH est représenté en perspective par la figure 71, où A est un morceau de la pièce EF (fig. 68), B un bout de la poutre GH (fig. 68), C une des lambourdes suspendues à cette poutre, et D quelques solives du milieu du plancher qui s'assemblent dans ces lambourdes à doubles entailles dont partie à queue d'aronde; *abcd* est un étrier en fer qui s'accroche sur le dessus de la poutre A, et qui soutient la poutre B et les lambourdes C. La poutre B s'assemble en outre dans la poutre A à tenon et mortaise, ainsi que les autres pièces du plancher qui, comme on le voit en plan (fig. 68), sont reliées par des bandes de fer plat, soit seulement en dessous, soit en dessous et en dessus en même temps, comme dans les planchers à la Serlio. La poutre GH, supportée par le milieu des poutres EF, IK, ôte de la solidité au plancher, ainsi qu'il est facile de le concevoir; il aurait mieux valu continuer d'assembler des poutrelles en écharpe les unes sur les autres, ainsi qu'on le voit figuré en plan dans la figure 70, qui offre la disposition d'un plancher exécuté dans la rue St.-Denis. La fig. 69 présente un autre plancher exécuté dans la rue du Faubourg St.-Denis, dont la disposition est encore plus ingénieuse. Les grosseurs des pièces de bois vont en diminuant à mesure que leurs longueurs deviennent plus petites; ces pièces s'assemblent les unes sur les autres par des entailles à queues d'aronde, comme on le voit en plan dans la fig. 69, et en perspective dans la fig. 72.

rangs de planches de 4 cent. d'épaisseur, cloués transversalement les uns sur les autres, et réunis çà et là par de petits boulons avec écrous, qui, par surabondance, réuniraient plus fortement les rangs de planches.

40. Au lieu de se servir de planches pour remplir les vides laissés entre les pièces de bois des planchers, on cloue des lattes transversalement sur la face inférieure des solives, très-près les unes des autres; ensuite on soutient provisoirement des planches jointives par des étais contre ces lattes en dessous, et on jette du plâtre par dessus entre les solives, de manière que le plâtre s'introduise partout entre les solives et les lattes, en recouvrant ces dernières en dessus d'environ un demi-centimètre d'épaisseur. Cela fait, on fait tomber les étais et les planches qu'ils soutiennent, on les transporte plus loin, pour recommencer la même opération, jusqu'à ce qu'on ait parcouru toute l'étendue du plancher. Après avoir laissé sécher le plâtre, on fait un enduit continu en dessous pour former le plafond. De cette manière, il reste du creux entre les solives, et pour faire passer l'aire sur laquelle on doit poser le carrelage, on place transversalement sur le dessus des solives, et à côté les uns des autres, de petits morceaux de bois qu'on nomme *bardeaux*, et que l'aire en plâtre dont nous venons de parler réunit en les recouvrant. Avant de poser le bardeau, et même avant de clouer les lattes en dessous, on doit mettre des étrésillons entre les solives sur des lignes droites parallèles, comme les lignes ponctuées EF, GH, SI l'indiquent dans la figure 28, et les lignes AB dans les fig. 69 et 70. Ces étrésillons ont pour objet de buter les solives les unes contre les autres, de manière que l'une ne puisse pas fléchir sans faire éprouver un certain mouvement à celles qui l'avoisinent, et cet effet donne au plancher plus de solidité. Malgré cela, cette manière de remplir les vides laissés entre les solives ne vaut pas les planches clouées sur ces dernières. Il vaut beaucoup mieux *hourder plein*, c'est-à-dire remplir complètement l'entre-deux des solives par de la maçonnerie de plâtre et plâtras, ou de morceaux de bois noyés dans le plâtre. Pour mieux lier cette maçonnerie avec les solives, on plante de vieux clous sur les faces latérales de ces derniers, et on latte le dessous. En hourdant plein, les planchers acquièrent une telle solidité, que j'en ai vu construire avec des solives si faibles, qu'elles ne pouvaient pas résister à la charge d'un homme dans leur milieu, et quand le hourdis était fait, le plancher avait la solidité d'une voûte, par l'union intime de toutes les parties occasionnée par la maçonnerie pleine.

3me. LEÇON.

Divers systêmes de fermes pour soutenir la couverture ou le comble des édifices.

41. La couverture ou comble d'un édifice se compose de deux parties : le toit et la charpente qui soutient ce dernier.

Le toit est fait en tuiles plates ou creuses de terre cuite, en ardoises, en dalles minces de pierre dure ou de marbre, en lames de plomb, de zinc, de cuivre, etc. Ce n'est pas ici le lieu de parler des toits ; il n'y doit être question que des divers genres de charpente qui sont destinés à les soutenir.

Les combles ou couvertures des édifices sont à surfaces planes ou à surfaces courbes. Ceux à surfaces planes sont de formes prismatiques ou pyramidales, et souvent en partie prismatiques et en partie pyramidales. Ceux qui sont à surfaces courbes sont cylindriques ou coniques. Enfin il y a des combles qui sont mixtes, c'est-à-dire en partie à surfaces planes et en partie à surfaces courbes. La forme de la charpente qui soutient le toit doit nécessairement participer de celle du comble. Quoique cette charpente ne soit qu'une partie du comble, on lui donne aussi ce nom.

Dans les combles à surfaces planes, les faces prennent le nom de *pentes*. Nous aurons des combles à une, deux, trois ou quatre pentes, etc.

42. La charpente d'un comble se compose 1°. d'une ou de plusieurs *fermes* qui soutiennent tout le systême ; 2°. de plusieurs poutrelles qu'on appelle *pannes*, qui s'appuyent transversalement sur les fermes, en les reliant, et 3°. d'un nombre plus ou moins considérable de solives ou chevrons qui sont arrêtés transversalement sur les pannes, au moyen de chevilles ou broches de fer. Le reste de la confection du comble sort du domaine de la charpente, ainsi nous ne nous en occuperons point.

Pour expliquer chacune des parties de la charpente d'un comble, nous supposerons qu'il s'agisse d'en construire un à surfaces planes à deux pentes.

Pour construire ce comble, on placera, à distances égales les unes des autres, des poutres horizontales comme AB (fig. 73), qu'on appuyera par les deux bouts sur les murs A, B qui doivent soutenir le toit ; sur cha-

cune de ces poutres AB, on assemblera les bouts inférieurs de deux autres poutres *ab*, *cd*, qui viendront se buter l'une contre l'autre par les faces des bouts supérieurs *b*, *c* qui seront planes et verticales, et l'ensemble de ces trois poutres AB, *ab*, et *cd*, formera ce qu'on appelle *une ferme*.

Ces trois poutres AB, *ab* et *cd* sont nécessaires à la construction de toutes les espèces de fermes, sauf la poutre AB, qui est quelquefois remplacée par d'autres pièces de bois diversement disposées, ainsi qu'il sera expliqué par la suite. Pour les désigner, on a donné le nom d'*arbalêtriers* à celles *ab*, *cd* qui sont disposées parallèlement aux pentes du comble ; et celui de *tirant*, à la poutre horizontale AB, pour indiquer qu'elle agit en tirant pour empêcher l'écartement des pieds des arbalêtriers.

Le tirant s'appelle aussi *entrait*, mais ce nom ne vaut pas le premier, en ce qu'il ne désigne pas si bien l'usage de cette pièce.

L'assemblage des pieds des arbalêtriers dans les bouts des tirans se fait de plusieurs manières, dont les plus simples et les plus solides sont celles représentées par les figures 74 et 75, où B est le pied d'un arbalêtrier, et A un bout du tirant, qui présente les endents qui doivent empêcher les pieds des arbalêtriers de glisser. Ces endents doivent avoir au moins 5 centimètres de profondeur de *a* en *b*, et les arètes *ab* doivent être des plans verticaux perpendiculaires à la longueur du tirant. Pour que les fibres du bois ne soient pas déchirées par la poussée des arbalêtriers, on conçoit que les endents ne doivent pas aller jusqu'aux extrémités du tirant, mais, au contraire, qu'il doit rester un talon dont la longueur *ac* soit à peu près égale à l'épaisseur du tirant. On remarquera, dans la figure 75, qu'outre les endents, il y a une espèce de tenon dans le bout B de l'arbalêtrier, qui vient se loger dans une entaille pratiquée dans le milieu de la largeur du bout A du tirant. L'épaisseur de ce tenon est le tiers de la largeur de l'arbalêtrier.

Quant à l'assemblage des bouts supérieurs des arbalêtriers, il est représenté par la figure 76, où l'on voit que ces bouts B, C se joignent simplement par deux faces planes et verticales, ce qui suffit quand les pieds des arbalêtriers sont assez bien assemblés dans le tirant pour ne pouvoir pas s'écarter l'un de l'autre. Cependant, pour empêcher ces deux pièces de se désunir, en glissant sur leurs joints, on fera bien (ne fût-ce que pour éviter les accidens pendant la mise en place de la ferme), on fera bien, dis-je, de loger une clef A dans des entailles pratiquées par dessus ces bouts d'arbalêtriers, et de réunir le tout par deux chevilles de bois.

Par dessus les arbalêtriers *ab*, *cd* (fig. 73), on voit paraître le profil *e*, *f*, *h* et *i* des pannes qui s'appuyent sur les fermes, en les réunissant entre

elles, et qui soutiennent les chevrons *op*, *pq*. Au-dessus du sommet des arbalêtriers est une autre panne différente des autres par sa forme, à laquelle on donne le nom de *faîtage*. Le dessus du faîtage est en effet taillé à deux pentes, ainsi qu'on le voit par la figure 77, pour donner aux chevrons qui viennent poser dessus, une portée convenable. On observera qu'il faut tronquer le sommet de la ferme, par un plan horizontal, pour que le faitage pose convenablement sur les arbalêtriers.

Pour empêcher les pannes de glisser ou de rouler sur les faces inclinées des arbalêtriers, on arrête, sur ces derniers, des espèces de tasseaux, dont la place est indiquée par les triangles *k*, *l*, *m* et *n* (fig. 73), et dont la forme est représentée par les figures 78 et 79, où A est un morceau d'arbalêtrier, et B le tasseau, que l'on appelle *chantignole*. Dans la figure 78, on voit que la chantignolle est posée simplement sur la face supérieure de l'arbalêtrier, et arrêtée par deux chevilles, soit en bois, soit en fer, et dans la figure 79, que la chantignolle est entaillée par en bas dans l'arbalêtrier, indépendamment de ce qu'elle est arrêtée par deux chevilles, comme dans l'autre cas. Il suffira que la profondeur de cette entaille inclinée ait environ un centimètre, pour qu'elle soulage assez les chevilles qui empêchent la chantignole de glisser.

43. Le système de ferme que nous venons d'expliquer est le plus simple qu'on puisse imaginer, et a assez de solidité quand les arbalêtriers sont assez forts pour ne pas fléchir dans le milieu. S'il arrivait qu'il fussent trop faibles, on pourrait les fortifier par des doublures *ef*, *ik* (fig. 80) contenues sous les arbalêtriers *ab*, *cd* par une solive horizontale *gh*, assemblée en coupe avec les doublures, comme l'indique la figure 80. Les pieds des doublures *ef*, *ik*, pourront être assemblés à endents dans le tirant, ainsi que doivent l'être les pieds des arbalêtriers, ou bien ils seront simplement coupés en biais, pour porter en plein sur le dessus du tirant, suivant qu'on aura besoin d'une force plus ou moins considérable.

44. Souvent il est plus convenable d'interposer, entre les bouts supérieurs *d*, *e* (fig. 81) des arbalêtriers, une poutrelle verticale *ab*, qu'on appelle *poinçon*, et dont la forme est représentée par la pièce A de la figure 82. Ce poinçon, dont la grosseur doit être égale à celle du tirant, descend jusques sur la face supérieure de ce dernier, dans laquelle il s'assemble à tenon et mortaise, pour l'empêcher d'osciller par le bas. Dans ce cas il faut que le poinçon ne s'appuie d'aucune manière sur le tirant, pour que, s'il venait à baisser, il ne pût pas faire fléchir ce dernier. Cependant, si l'on réunissait le poinçon et le tirant par un étrier de fer plat *ab* (fig. 82) qui passerait

sous le tirant et qui serait fixé sur les faces du poinçon avec de forts clous ou de bonnes vis, il n'y aurait aucun inconvénient à faire toucher ces deux pièces de bois, au contraire, dans ce cas, les arbalêtriers et le tirant seraient si bien réunis ensemble par le poinçon, qu'il ne pourrait y avoir aucune espèce de mouvement dans les assemblages, à moins que les arbalêtriers ne vinssent à fléchir sous la charge, ce qu'on pourrait empêcher, en soutenant leur milieu par deux solives *bh*, *bg* (fig. 81) assemblées d'un bout dans le bas du poinçon, et de l'autre sous les arbalêtriers. Ces deux solives *bh*, *bg* se nomment *jambes de force*. On voit, par leur disposition, qu'elles tendent à faire baisser le poinçon, et comme ce dernier se trouve engagé entre les bouts supérieurs des arbalêtriers par sa tête, qui est en forme de queue d'aronde, il est clair qu'il ne pourra baisser qu'autant que les pieds des arbalêtriers s'écarteront l'un de l'autre, ce à quoi le tirant s'oppose. Ainsi les jambes de force ne pourront pas faire baisser le poinçon, et par conséquent les arbalêtriers ne pourront pas fléchir dans le milieu.

La figure 82 présente les assemblages du poinçon avec les arbalêtriers, les jambes de force et le tirant. Les pièces D et E sont les bouts des arbalêtriers qui s'assemblent avec la tête du poinçon, et montrent que cet assemblage peut se faire à joints plans seulement, comme dans la pièce E, ou à joints et tenons, comme dans la pièce D. La pièce B est une jambe de force à tenons, dont l'un *a* doit se loger dans une mortaise pratiquée dans le bas du poinçon, et l'autre *b* dans une autre mortaise pratiquée sous l'arbalêtrier D. Indépendamment des tenons, cette jambe de force entre en coupe de toute sa grosseur dans le poinçon et le dessous de l'arbalêtrier, ainsi que l'indique l'entaille *c*, où doit se loger le bout de la jambe de force C qui n'a pas de tenon. Cette entaille, comme on voit, n'a pas de profondeur par en haut. En y ajoutant le tenon, on peut cheviller les jambes de force dans le poinçon et dans l'arbalêtrier, ce qui rend les assemblages plus solides.

45. La figure 83 présente un système de ferme, dans lequel le poinçon *ie* ne descend pas jusque sur le tirant AB, mais seulement jusqu'à *un faux entrait* ou pièce horizontale *fg* qui se compose de deux pièces en face l'une de l'autre, embrassant entre elles les arbalêtriers *ab*, *cd* avec lesquels elles sont réunies par des boulons. Toutes les fois que deux pièces de bois sont ainsi placées l'une en face de l'autre, et qu'elles en embrassent d'autres entre elles, on donne à leur ensemble le nom de *moise*. La figure 84 représente un bout de la moise *fg* (fig. 83), dans lequel on a figuré l'entaille pratiquée dans les deux parties de la moise pour laisser le passage de l'arbalêtrier, et rapprocher ces deux parties de moise à environ 3 à 4 centimètres l'une de l'autre. Le

faux entrait *ef* pourrait être fait d'une seule demi-moise entaillée par les deux bouts et dans le milieu, pour être assemblée et réunie par des boulons avec les arbalêtriers et le poinçon, qui doivent rester intacts; mais il serait moins solide qu'étant une moise entière.

46. Dans la figure 85 le poinçon *lm* descend jusque sur le tirant AB, mais les arbalêtriers *ab*, *cd*, au lieu d'être soutenus par des jambes de force, comme dans la figure 81, le sont par une *décharge efghik*, dont la pièce horizontale *gh* est entaillée à demi-épaisseur avec le poinçon.

47. Le système de la fig. 86 ne diffère de celui de la fig. 85, qu'en ce que, au lieu de la pièce horizontale *gh* (fig. 85) de la décharge, on a mis deux espèces de jambes de force *hg*, *ik*, qui s'assemblent à tenons et mortaises dans le bas du poinçon, et maintiennent les doublures *ef*, *lm* sous les arbalêtriers. On remarquera que sous les tirans AB des fig. 85 et 86, sont figurés des espèces de tasseaux CD, EF, qui sont tout-à-fait inutiles, quand les tirans sont assez longs pour avoir une prise convenable de chaque bout dans les murs. S'ils deviennent utiles, les tirans étant un peu courts, il faut les réunir avec la ferme par des liens de fer placés vers les bouts D et E de ces tasseaux.

48. La fig. 87 présente un exemple de ferme dans lequel il n'y a pas de poinçon au milieu, et les arbalêtriers *ab*, *cd* se joignent immédiatement par les bouts supérieurs; mais les pièces *ef*, *gh* et *ik* de la décharge sont assemblées dans deux poinçons *lm*, *nó* qui divisent en trois parties égales la distance des murs A et B. Ces poinçons seront réunis avec les arbalêtriers et le tirant, par des bandes de fer plat, ainsi qu'on le voit figuré. Dans ce cas, le tirant AB peut être de trois morceaux assemblés entre eux, à trait de Jupiter, au droit *m*, *o* des poinçons *lm*, *no*.

49. Les systèmes des fig. 88 et 89 ne diffèrent du précédent, qu'en ce que dans ces derniers il y a un poinçon dans le milieu, outre les deux des décharges. Dans la fig. 88, le poinçon du milieu descend jusqu'au tirant AB, et est entaillé à demi-épaisseur dans la pièce horizontale *gh* de la décharge. Ce système permet de faire le tirant AB de quatre morceaux assemblés à trait de Jupiter aux endroits *m*, *q* et *o* des poinçons. Dans la fig. 89, le poinçon du milieu ne descend que jusqu'à la pièce horizontale *gh* de la décharge, avec laquelle elle est réunie par un lien de fer.

50. La figure 90 présente une ferme plus compliquée que les précédentes, dont la solidité est très-considérable. On peut l'employer dans des combles d'une grande portée, dont la couverture serait des plus lourdes. L'inspection de la figure suffira pour faire concevoir la disposition des pièces de bois qui

la composent, dans laquelle le tirant peut être de quatre morceaux assemblés à trait de Jupiter, au droit de chaque poinçon. La forme du grand poinçon est représentée par la figure 91.

51. Les fermes des figures 92 et 93 sont semblables à celles des figures 87 et 88, avec cette différence seulement que les poinçons *lm*, *no* (fig. 92) et *lm*, *no* et *pq* (fig. 93) sont moisés, au lieu d'être d'une seule pièce, et embrassent entre elles le tirant, les arbalêtriers et les pièces des décharges. La forme de ces poinçons moisés est représentée par la figure 94, où l'on voit les entailles dans lesquelles passent le tirant, les arbalêtriers et les pièces de décharges. La figure 95 présente une moitié des mêmes poinçons, où sont figurées les moitiés des entailles dont nous venons de parler.

52. Les figures 96 et 97 offrent des exemples de fermes sur-exhaussées, qui se composent respectivement d'une partie *abc* semblable aux fermes des figures 92 et 93, et d'une partie plus élevée *efg*, soutenue par des moises *hi*, *lk* (fig. 96) et *hi*, *kl* et *mn* (fig. 97), qui embrassent toutes les pièces des premières parties *abc*, les solives *ef*, *fg* et la pièce horizontale *op* de la partie supérieure. Au sommet *f* du poinçon ordinaire *mn* (fig. 96) ou du poinçon moisé *mn* (fig. 97), sera assemblé un faîtage *m*, à tenons et mortaises, dans lequel les chevrons s'assembleront aussi à tenons et mortaises, ou sur lequel ils viendront simplement poser. Aux extrémités supérieures *i* et *l* des moises *hi*, *kl*, on assemblera à tenons et mortaises des pannes *i*, *l*, dont le dessus sera taillé suivant la pente du toit, pour soutenir les bouts inférieurs des chevrons *ef*, *fg*, qui seront compris dans la distance des fermes du comble.

La grande moise *mn* (fig. 97) est représentée par la figure 98, avec les entailles qui donnent passage aux diverses pièces du système. A est le bout inférieur, et B le bout supérieur de cette moise; C est l'entaille dans laquelle passera le tirant *ab* (fig. 97); D est celle dans laquelle viendra le faux entrait *qr* (fig. 97); E est celle dans laquelle seront les deux arbalêtriers *ab*, *cd* (fig. 97); F est celle qui embrassera la pièce horizontale *op*, et B est celle qui doit recevoir les chevrons *ef*, *fg* (fig. 97).

53. Les systêmes de fermes que nous venons de décrire sont particulièrement applicables aux cas où les pentes du comble ne sont pas très-rapides; dans le cas contraire, on peut disposer les fermes comme l'indiquent les figures 99, 100, 101, 102 et 104. L'inspection seule de ces figures suffit pour faire comprendre la disposition des pièces qui les composent. Dans la figure 99 les pièces *p* et *q* sont inutiles; on les appelle *jambettes*. Les pièces *lm*, *no*, qu'on nomme *esseliers*, pourraient aussi être supprimées, ainsi que dans

la figure 100, à moins que le faux entrait *gh* ne fût d'une longueur un peu considérable, et que le poinçon *ef* ne descendît pas jusqu'à lui. Dans ces deux exemples, les pieds des chevrons sont assemblés dans des plates-formes posées à plat sur les murs, dont les coupes sont *a* et *b*. Dans la figure 99 on voit deux petits chevrons *r*, *s*, qu'on appelle *coyaux*, et qui servent à adoucir la pente du toit et permettre de faire l'égout. Au lieu d'un égout, il est préférable, le plus souvent, de faire un chaîneau *a*, *b* (fig. 100), sur la corniche, et alors les coyaux sont supprimés.

L'exemple de la figure 101 n'a pas de tirant, mais en contre bas du niveau de la corniche se trouve la poutre AB d'un plancher, qui en tient lieu jusqu'à un certain point. En effet, on voit que deux esseliers *a* et *b* viennent s'appuyer sur les bouts de cette poutre, où ils sont assemblés à tenons et mortaises, lesquels vont en outre s'assembler dans les arbalêtriers, de même à tenons et mortaises, au-dessous du faux entrait *gh*. Ces esseliers sont assemblés dans le milieu de leur longueur, à demi-épaisseur avec deux morceaux de bois horizontaux *ec*, *df*, qu'on nomme *blochets*, dans lesquels les pieds des arbalêtriers s'assemblent à tenons et mortaises.

La figure 102 présente la disposition d'une très-grande ferme, que nous croyons inutile d'expliquer.

54. Quant à la figure 103, elle présente un exemple de ferme pour les combles brisés, dits à la *Mansarde*. Tout consiste, dans ces fermes, à soutenir un tirant *gh* par deux poteaux inclinés *a* et *b*, qui s'appuient sur les bouts d'une poutre AB qui soutient un plancher au niveau de la corniche. Ce tirant doit être à une hauteur au-dessus de ce plancher, d'au moins 2^{m}. 20, pour qu'on puisse passer librement dessous. Ces poteaux et le tirant qu'ils soutiennent doivent être reliés par des esseliers *c* et *d*, afin que les angles que ces pièces de bois font entre elles ne puissent pas varier. A chaque bout du tirant on assemblera à tenons et mortaises une panne *e*, *f*, dont la face extérieure et la face supérieure formeront un angle égal à celui formé par les pentes *i* et *k* du comble, laquelle panne recevra les chevrons de ces deux pentes. Cette panne s'appelle *panne de brisis*, et l'angle formé par les deux pentes *i* et *k*, *angle de brisis*. Ensuite, sur le tirant *gh*, on établira une ferme d'après l'un des systèmes que nous avons expliqués pour les cas où le comble n'a pas beaucoup de pente.

55. Dans les édifices gothiques, où tout porte le caractère de la légèreté, on remarque que très-souvent les combles n'ont pas de grosses fermes pareilles à celles que nous avons décrites jusqu'ici, et que les solives sur lesquelles pose immédiatement la toiture sont toutes armées, comme le

montre la figure 104. Seulement, de distance en distance, l'écartement de ces armatures est empêché par des tirans, aux bouts desquels les pieds des solives qui y répondent sont assemblés. Les pieds des autres sont simplement assemblés dans des blochets *a* et *b*.

56. Voici encore divers systèmes de fermes pour de grands combles, qui sont plus ou moins compliqués. Celui représenté par la figure 105, est dû à un charpentier de Wurtemberg, nommé *Stierme*, et celui de la figure 106 est une correction du précédent, par M. Rondelet. Le lecteur jugera sans peine que la disposition de la figure 106 est préférable à celle de la figure 105, sous le rapport de la solidité, quoique la quantité de bois soit à peu près la même. Il portera le même jugement sur la ferme figure 108, par rapport à celle figure 107, et sur celle figure 110 par rapport à celle figure 109. La ferme figure 107 est encore due à Stierme, et celle figure 109 est de 80 pieds ou 25^{m}, 987 de portée, exécutée dans une grande salle d'exercice, tirée du recueil de charpente de M. Krafft; celles figures 108 et 110 sont des corrections des précédentes par M. Rondelet, où l'on voit que la quantité de bois est moindre que dans leurs correspondantes.

57. La figure 111 est la moitié de l'une des fermes du comble du nouveau manège de Moscou. La disposition de cette ferme est assez simple, quoique d'une très-grande portée. Les poinçons *ab*, *cd*, *ef* et *gh* sont moisés et accrochés à une douille de fonte, ainsi que l'indique la figure 113, où A et B sont les deux parties de l'un des poinçons moisés, et C la douille de fonte. Cette douille de fonte descend entre les deux parties A et B du poinçon moisé jusqu'en *a*, et est réunie à ces deux pièces de bois par quatre boulons *b*, *c*, *d* et *e*, dont les têtes passent au travers de deux agrafes, dont une seule *bcde* est visible. La figure 112 est la vue latérale du poinçon *hg* (fig. 111), dans laquelle A est la douille dont nous venons de parler, B une des moises qui réunissent les fermes entre elles, C est une autre moise entaillée sur le tirant DE, à laquelle est suspendu un plancher FG par le moyen d'aiguilles HI et de la solive K. Les pannes de ce comble sont assemblées dans les arbalétriers au moyen d'entailles recouvertes de fonte, ainsi que la lettre *o* l'indique dans la figure 111. Il aurait mieux valu que les poinçons moisés de cette ferme eussent embrassé les arbalétriers, que d'être pour ainsi dire suspendus en dessous au moyen des douilles de fonte dont nous avons parlé, et dans lesquelles viennent s'assembler les pièces de bois marquées de la lettre *p*; on remarquera (fig. 111) les têtes des moises qui réunissent les fermes entre elles à diverses hauteurs.

La figure 114 est la ferme de l'ancien manège de la même ville, qui fut brûlé

par les Russes, lors de l'invasion de l'armée française en 1812. L'inspection seule du dessin de cette ferme suffira pour faire comprendre la disposition des pièces de bois qui la composent. On remarquera dans cette ferme un arc de cercle composé de trois rangs de morceaux de bois l'un sur l'autre, réunis par des endents. Cet arc de cercle est arrêté à ses deux extrémités entre deux moises verticales A, adossées contre la face intérieure des murs de face du manège, et il passe entre tous les poinçons moisés de la ferme. Au sommet de la ferme, on voit l'indication d'une lanterne B.

58. Jusqu'ici nous avons supposé des tirans à toutes les fermes que nous avons expliquées; mais souvent des voûtes s'élevant plus haut que le bas du comble, il n'est plus possible d'en établir, ce qui rend quelquefois difficile d'empêcher l'écartement des pieds des arbalêtriers. Nous nous bornerons à offrir cinq exemples de fermes sans tirant. Celui de la figure 115 nous a paru assez simple pour pouvoir figurer ici; ceux figures 116 et 117 sont tirés du recueil de charpente de M. Krafft, et ceux figures 118 et 119 sont les fermes du porche et de l'église Ste.-Geneviève de Paris. Je crois inutile de les décrire en détail : il suffira d'examiner attentivement la disposition des pièces qui les composent pour sentir l'effet qu'elles doivent produire.

4me. LEÇON.

Des Combles ayant la forme d'une pyramide à base quadrangulaire.

59. EXEMPLE 1er. Supposons qu'il s'agisse de construire le comble d'un pavillon carré à quatre pentes, et soit ABCD le plan de ce pavillon. Cela posé, voici comment on disposera les fermes du comble.

On menera les diagonales AC, BD (fig. 120) du plan du pavillon, et ces diagonales seront les projections horizontales des axes des tirans de deux fermes qui porteront les intersections des pentes du comble. Si le pavillon est petit, ces deux fermes diagonales suffiront; mais s'il a environ 6 mètres et plus de largeur dans œuvres, alors on disposera deux autres fermes EF, GH, dans des directions perpendiculaires entre elles, et aux côtés du plan du pavillon, dont les axes passeront par le centre I du plan. Ces deux dernières fermes et les deux qui seront sur les diagonales auront le même poinçon, dont la base sera octogone, ainsi qu'il est exprimé par les octogones I en projection horizontale. Tous les tirans de ces fermes seront de deux morceaux,

et s'assembleront à tenons et mortaises dans le bas du poinçon commun, lequel descendra plus bas que le dessous des tirans d'environ 30 centimètres, ainsi que le fait voir la projection verticale *gh* de ce poinçon. Dans le bas de cette projection, on voit les mortaises *i* pratiquées dans le bas du poinçon, dans lesquelles doivent s'assembler les tenons des demi-tirans des fermes. Pour que le poinçon ne soit pas trop gros, on coupera en sifflet les bouts des demi-tirans et des arbalêtriers qui viennent s'assembler avec lui, ainsi qu'on le voit indiqué en projection horizontale. Voici maintenant comment on tracera l'épure du comble.

On commencera par dessiner la projection verticale *fek* de la ferme EF du milieu, comme à l'ordinaire, ainsi qu'on le voit, en observant qu'on doit indiquer quatre arètes du poinçon, à cause de sa forme *octogonale*. Cela fait, on distribuera les pannes *l*, *m*; on en obtiendra les projections horizontales PXYZ, et ensuite on déterminera la forme réelle des fermes diagonales qui doivent soutenir les intersections des faces du comble, et auxquelles on donne le nom de *fermes de croupe*. (*)

Pour cela, on observera d'abord que les faces supérieures des tirans de toutes les fermes du comble doivent être situées sur un même plan horizontal, sur lequel on concevra la base d'une pyramide à base carrée, dont les faces triangulaires seront les pentes du comble. Il faudra concevoir deux de ces pyramides; sur les faces de la première, dont le sommet a le point *e* pour projection verticale, seront les faces supérieures des pannes, et sur les faces de la seconde, dont le sommet a le point *g* pour projection verticale, seront les faces inférieures des mêmes pannes, ou, ce qui revient au même, les faces supérieures des arbalêtriers. Ensuite, comme les faces supérieures des pannes (sur lesquelles doivent poser les chevrons) sont plus élevées que celles des arbalêtriers, de toute l'épaisseur des pannes, on observera que pour que les chevrons *no* aient un point d'appui par le bout *n*, il faut nécessairement qu'on établisse des doublures sur les arbalêtriers des fermes diagonales, dont les faces supérieures soient sur les mêmes plans que les faces supérieures des pannes. Cela posé, on cherchera les projections horizontales KLMN, ABCD des bases des deux pyramides, en abaissant les perpendiculaires *k*L, *b*B à *fk* ou à NM, par les points *k* et *b* où les droites *ek*, *gb* viennent rencontrer la projection verticale *fk* de la face supérieure du tirant. Ensuite sur les droites VV″, OO″, menées à égales distances de la diagonale LN,

(*) En général, on donne ce nom à toutes les fermes qui soutiennent l'intersection de deux faces d'un comble à surfaces planes, quand cette intersection présente une arète saillante.

et à une distance entre elles égale à la largeur qu'on veut donner aux arbalétriers des fermes diagonales, on supposera élevés deux plans verticaux, lesquels contiendront les faces latérales des arbalêtriers, et iront rencontrer les faces des pyramides, dont nous avons parlé plus haut, suivant des droites qui seront les arètes latérales de la face supérieure des doublures et de celle des arbalêtriers des fermes diagonales. Actuellement, on menera une droite L'*i'* parallèle à la diagonale LN, et à la distance qu'on voudra ; cette droite L'*i'* sera la projection verticale de la face supérieure du demi-tirant LI. Cela fait, par les points L, V, B et O on élevera les perpendiculaires LL', VV', BB' et OO' à la droite L'*i'*, et les pieds L', V', B' et O' de ces perpendiculaires seront les projections verticales des points où les arètes des faces supérieures de la doublure et de l'arbalêtrier vont rencontrer le dessus du tirant. Pour avoir les projections de ces arètes, on fera I'*i'* égal à la hauteur *ie* de la pyramide dont les faces passent par les faces supérieures des pannes, et dont la base est le carré KLMN ; on joindra les points L', I' par la droite L'I', qui sera la projection verticale de l'arète de cette pyramide dont le pied est le point L. Parallèlement à cette droite L'I', et par les points V', B' et O', on menera les droites V'V''', B'B'' et O'E', qui seront les projections verticales demandées. Puis, on projectera le poinçon *i'*I', on donnera l'épaisseur qu'on jugera convenable à l'arbalêtrier B'B'', et la ferme diagonale sera dessinée, sauf le passage des pannes dans l'épaisseur de la doublure V'V''', qu'on déterminera ainsi qu'il suit :

En considérant la position des pannes et leurs rencontres aux intersections des faces du comble, on concevra que, en élevant par les points P, Q, R, S, T et U, les perpendiculaires PP', RR'', TS'' et UU', à la droite LI, elles rencontreront les droites L'I', V'V''', B'B'' et O'U' en des points tels, qu'en les joignant deux à deux par des droites dans cet ordre : P' et Q', Q' et S', S' et R', R' et P', R'' et S'', S'' et U', U' et T', T' et R'', on aura la projection verticale du passage d'une panne entre les doublures. Je crois maintenant qu'en examinant l'épure et suivant les lignes d'opération avec attention, le lecteur parviendra à comprendre facilement les détails que je n'ai point expliqués, pour lui épargner l'ennui d'une trop longue description. Ainsi, il ne nous reste plus qu'à faire voir comment on peut tracer chaque morceau de bois de ce comble, en les supposant tous parfaitement dressés et équarris à vives arètes, sur les dimensions de grosseur indiquées dans l'épure, dimensions que nous avons été obligés de forcer outre mesure, afin d'écarter assez les lignes et les points de l'épure, pour pouvoir placer sans confusion les lettres d'indication.

Manière de tracer les pièces de bois du comble précédent.

60. Supposons, en premier lieu, qu'il s'agisse de couper un chevron de longueur, en ayant égard à l'obliquité que doivent avoir les têtes; prenons pour exemple celui dont la projection horizontale est *ro*, et la projection verticale *zuxz'*. Comme ce chevron est parallèle au plan de projection verticale, sa projection verticale est sa véritable longueur; ainsi, on menera, à cette projection verticale, la perpendiculaire *x'u'* quelque part qu'on voudra, laquelle sera la projection verticale de la section droite du chevron. Cela posé, on choisira un chevron d'une grosseur convenable, et d'une longueur égale à la plus courte distance comprise entre les points *z'* et *u*; soit *hk* (fig. 121) ce chevron, on tracera, d'équerre à sa longueur, les droites *ab*, *bc*, *cd* et *da* de manière que la longueur *ai* soit égale à la longueur *x'z'* (fig. 120). Ensuite, on fera *dm* (fig. 121) égal à *zu'* (fig. 120); on joindra les points *m* et *i* (fig. 121) par la droite *mi*; par les points *m* et *i* on menera les droites *ml*, *ik* d'équerre aux arètes *hm*, *ei*; on joindra les points *l* et *k* par la droite *lk*, et la tête du bas du chevron sera tracée.

Pour tracer l'autre tête qui doit se joindre avec celle du chevron correspondant en retour sur la pente contiguë, on fera la longueur *ae* (fig. 121) égale à *x'x* (fig. 120); la longueur *bf* (fig. 121) égale à *x'y* (fig. 120); la longueur *cg* (fig. 121) égale à *u'v* (fig. 120); la longueur *dh* (fig. 121) égale à *u'u* (fig. 120); on joindra ensuite les points *e*, *f*, *g* et *h* (fig. 121) par les droites *ef*, *fg*, *gh* et *he*, et le joint dont il s'agit sera tracé. On tracera tous les autres chevrons de la même manière.

61. Supposons, en second lieu, qu'il s'agisse de tracer une panne, celle dont la projection horizontale est PX (fig. 120); on choisira une poutrelle dont l'équarrissage soit celui indiqué par le profil *m*, et dont la longueur soit égale à PX. Soit donc *el* (fig. 122) cette poutrelle, la face supérieure étant *felm*. Cela posé, on déterminera la section droite *abcd* de cette poutrelle au milieu de sa longueur, et ensuite on fera les longueurs *ai* et *ag* (fig. 122) égales à *m'*T (fig. 120); les longueurs *bk* et *bh* (fig. 122) égales à *n'*R (fig. 120); les longueurs *cl* et *ce* (fig. 122) égales à *o'*P (fig. 120); les longueurs *dm* et *df* (fig. 122) égales à *n'*R (fig. 120); on joindra ensuite les points *i*, *m*, *l* et *k* (fig. 122) par les droites *im*, *ml*, *lk* et *ki*, et les points *g*, *h*, *e* et *f* par les droites *gh*, *he*, *ef* et *fg*, et les deux joints obliques de notre panne seront tracés.

62. Supposons, en troisième lieu, qu'il s'agisse de tracer un demi-tirant,

celui dont EI (fig. 120) est la projection horizontale, et ff'' la projection verticale. On commencera par chercher une poutre d'un équarrissage convenable, et d'une longueur égale à la distance du point f au point f'', plus la longueur qu'on voudra donner au tenon qui doit entrer dans le bas du poinçon. Soit nq (fig. 123) cette poutre, la face supérieure étant $aszqn$; cela posé, on fera la distance ac (fig. 123) égale à fa (fig. 120); la distance ae (fig. 123) égale à fa' (fig. 120); la distance ag (fig. 123) égale à fa'' (fig. 120); par les points c, e et g (fig. 123) on mènera les droites cm, cd, ek, ef et gh d'équerre à l'arète as, et par les points m et k, les droites lm, ki d'équerre à l'arète nq. Puis, on fera les profondeurs cd et ml, ef et ki, respectivement égales à aa'' et $a'a^{\text{iv}}$ (fig. 120); on joindra les points d, e, f, g, l, k, i et h (fig. 123) par les droites de, fg, lk et ih, et les endents qui doivent empêcher les pieds des arbalêtriers de s'écarter seront tracés.

Pour tracer le démaigrissement des faces latérales du bout de ce tirant qui doit porter le tenon, on fera la longueur ar' (fig. 123) égale à ff'' (fig. 120); les longueurs as et nq (fig. 123) égales à ff' (fig. 120) (le point f' appartenant à la projection verticale $f'f^{\text{iv}}$ de l'arète de démaigrissement dont la projection horizontale est le point f'''); par le point r' (fig. 123) on mènera la ligne $r'p'$ d'équerre à l'arète as; on prendra le milieu u de cette droite $r'p'$; on fera les distances ur et up égales chacune à la demi-largeur d'une face du poinçon ou d'un côté de l'octogone en lignes pleines I (fig. 120); par les points s et r, q et p, on mènera les droites sr, qp, et le démaigrissement sera tracé sur la face supérieure de notre tirant. On tracera la même chose et de la même manière sur la face inférieure, on tracera aussi le tenon z, et toutes les parties du demi-tirant seront tracées.

63. Qu'il s'agisse, en quatrième lieu, de tracer un arbalêtrier de l'une EF des fermes parallèles aux murs opposés du pavillon. On choisira une poutre d'une grosseur convenable à l'épure, et d'une longueur égale à la plus grande longueur de la projection verticale db de l'un des arbalêtriers de la ferme en question. Soit kx (fig. 124) cette poutre, la face inférieure de l'arbalêtrier devant être celle $npxk$ de cette poutre. Cela posé, on menera la droite $c'c^{\text{iv}}$ (fig. 120) perpendiculaire à la projection verticale db de l'arbalêtrier à tracer, laquelle sera la projection verticale de la section droite de cette pièce. Puis, on prendra la longueur dc^{iv} pour la porter de m en a (fig. 124), et par le point a, on fera passer la section droite $abcd$ de la poutre. Cela fait, on fera la longueur dn égale à $c'd'$ (fig. 120); on joindra les points n, m (fig. 124) par la droite mn; par les points n et m, et d'équerre aux arètes np, ms, on menera les droites nk, mz; on joindra les points k et z par la droite kz, et le joint qui

vient contre la tête du poinçon sera tracé. Pour tracer le délardement des faces latérales de cette tête de notre arbalêtrier, afin de réduire sa largeur égale à celle d'une face du poinçon, on prendra le milieu i (fig. 124) de l'arète nk, et on fera les distances io, il chacune égale à la moitié d'un côté de l'octogone ponctué I (fig. 120), qui est la projection horizontale du col $g'd'$ du poinçon. Ensuite, on observera que la droite $d''d'''$ est la projection verticale de l'intersection du délardement et de la face latérale de l'arbalêtrier. En conséquence, on fera les longueurs dg, cc (fig. 124) égales à $c'd''$ (fig. 120); les longueurs ah, bf (fig. 124) égales à $c''d'''$ (fig. 120); on joindra les points h et g, f et e (fig. 124) par les droites hg, fe, et les points g et l, e et o par les droites gl, eo; et les plans menés par les droites gh et gl, ef et eo seront les délardemens dont il s'agissait. Pour tracer les endents du pied de notre arbalêtrier, par les points b' et b'' (fig. 120) de sa projection verticale, nous menerons les droites $b'c'''$, $b''c''$ parallèles à la droite bd, nous porterons les distances $c'c''$, $c'c'''$ de d en z et de d en y (fig. 124); par les points z et y, nous menerons les droites zq, yr parallèles à l'arète np; puis, nous ferons la distance dp égale à $c'b'''$ (fig. 120); la distance zq (fig. 124) égale à $c''b''$ (fig. 120); la distance yr (fig. 124) égale à $c'''b'$ (fig. 120); la distance as (fig. 124) égale à $c''b$ (fig. 120); nous joindrons les points p, q, r et s (fig. 124) par les droites pq, qr et rs; nous opérerons de la même manière sur la face opposée de la pièce, comme l'indique le contour $xvut$, et les endents du pied de notre arbalêtrier seront tracés.

64. Supposons qu'en cinquième lieu il s'agisse de tracer l'un des arbalêtriers des fermes diagonales; après avoir tracé la tête, son délardement et les endents du pied, comme il vient d'être expliqué pour l'arbalêtrier de la figure 124 (en prenant les longueurs nécessaires sur la projection verticale de la ferme diagonale, à partir de la section droite A'D'), on tracera l'entaille $ihklmnopq$ (fig. 125), dans laquelle doivent entrer les bouts des pannes qui viennent se joindre en retour sur cet arbalêtrier, de la manière qui suit :

On menera la droite gm (fig. 125) sur le milieu de la largeur de la face supérieure de l'arbalêtrier; on fera les distances ae, bf égales à D'B'' (fig. 120); par les points e, f (fig. 125), on menera les droites eo, fk parallèles aux arètes an, bl; ensuite, on fera les distances gr et gm respectivement égales à D'R' et D'T' (fig. 120); les distances aq et bi (fig. 125) chacune égale à la distance du point D' (fig. 120) au point où la droite D'E' rencontre la droite S'Q', et on joindra les points q, r et i (fig. 125) par les droites qr, ri, auxquelles par le point m on menera les parallèles mn, ml; on fera les distances ep, fh chacune égale à B''S' (fig. 120); les distances eo, fk (fig. 125) chacune

égale à B″U′ (fig. 120); on joindra les points *q* et *p*, *i* et *h*, *n* et *o*, *l* et *k* par les droites *qp*, *ih*, *no*, *lk* (fig. 125), et l'entaille en question sera tracée. Quant à la forme qu'elle aurait étant faite, la figure 125 la représente, surtout du côté à gauche, où les triangles *pqr*, *mno* indiquent que sur le milieu de la largeur de l'arbalêtrier cette entaille n'a pas de profondeur.

65. Supposons, en sixième lieu, qu'il soit question de tracer la partie de la doublure de l'arbalêtrier de la ferme diagonale, qui vient se joindre avec la tête du poinçon. Pour cela, on cherchera la véritable forme *abedf* (fig. 128) de la section droite de cette doublure, en menant une droite *ab* (fig. 128) quelque part que ce soit, que l'on fera égale à la largeur de l'arbalêtrier; on divisera *ab* en deux parties égales au point *c*; à la droite *ab*, et par les points *a*, *c* et *b*, on élevera les perpendiculaires *af*, *cd* et *be*; on fera les deux extrêmes *af*, *be* chacune égale à E′F′ (fig. 120), et celle du milieu *cd* égale à E′G′; on joindra les points *f*, *d* et *e* par les droites *fd*, *de*, et le pentagone *abedf* sera la section droite demandée. Cela fait, on équarrira un morceau de bois de manière que la forme de la base soit celle de ce pentagone *abcdf*, et dont la longueur soit égale à R″I^v (fig. 120). Soit donc cette pièce de bois figure 126, dont la section droite est *edcfs*; pour tracer le joint qui va contre la tête du poinçon, on fera la longueur *sl* (fig. 126) égale à G′I^v (fig. 120); les longueurs *eg*, *fk* (fig. 126) chacune égale à F′I^{iv} (fig. 120); les longueurs *dh*, *ci* (fig. 126) chacune égale à E′I‴ (fig. 120); on joindra les points *g*, *l*, *k*, *i* et *h* (fig. 126) par les droites *gl*, *lk*, *ki*, *ih* et *hg*, et le joint demandé sera tracé. On tracera ensuite le délardement d'une manière semblable à celle que nous avons expliquée au numéro 63.

Pour tracer le joint qui va contre les pannes qui se réunissent en retour sur l'arbalêtrier de diagonale, on divisera le côté *dc* (fig. 126) de la section droite en deux également au point *a*, par lequel on menera la droite *ap* parallèle à l'arète *io*; puis, on fera la longueur *ap* égale à E′T′ (fig. 120); les longueurs *co* et *dq* (fig. 126) chacune égale à la distance du point E′ (fig. 120) au point où la droite U′S″ rencontre la droite E′B′; les longueurs *er* et *fn* (fig. 126) chacune égale à F′S″ (fig. 120); la distance *sm* (fig. 126) égale à G′R″ (fig. 120); on joindra les points *m*, *n*, *o*, *p*, *q* et *r* (fig. 126) par les droites *mn*, *no*, *op*, *pq*, *qr* et *rm*, et le joint à deux faces demandé sera tracé : en taillant ces deux faces, qui seront planes, elles se rencontreront suivant la droite *mp*.

66. Enfin, supposons, en septième lieu, qu'il s'agisse de tracer le morceau de doublure dont le bout inférieur vient s'appuyer sur la face supérieure du tirant de diagonale. Pour cela, on commencera par équarrir un morceau de

bois de manière que la base ait la forme du pentagone *abcdf* (fig. 128), et dont la longueur soit la plus courte distance entre les points L′ et S′; puis, on tracera la section droite *cdcfg* (fig. 127) de ce morceau de bois, de manière que la distance *id* soit égale à la distance du point D′ au point où la droite Q′S′ rencontre la droite D′E′ (fig. 120), et ensuite on menera la droite *ak* (fig. 127) à égales distances des arêtes *cl*, *di*; on fera la longueur *ak* égale à D′R′(fig. 120); les longueurs *eh* et *fm* (fig. 127) chacune égale à C″Q′ (fig. 120); la longueur *gn* (fig. 127) égale à D″P′; on joindra les points *h*, *i*, *k*, *l*, *m* et *n* (fig. 127) par les droites *hi*, *ik*, *kl*, *lm*, *mn* et *nh*, et le joint angulaire de cette doublure qui va s'adapter contre les faces des pannes qui se joignent en retour sur l'arbalêtrier de diagonale sera tracé. Pour tracer l'autre bout de notre doublure, nous ferons les longueurs *dp* et *cq* (fig. 127) chacune égale à D′B′ (fig. 120); les longueurs *eo* et *fr* (fig. 127) chacune égale à C″V′ (fig. 120); la longueur *gs* (fig. 127) égale à D″L′ (fig. 120); nous joindrons les points *o*, *p*, *q*, *r* et *s* par les droites *op*, *pq*, *qr*, *rs* et *so* (fig. 127), et le joint en question sera tracé.

Nous n'expliquerons point la manière de tracer le poinçon, par la raison qu'il ne saurait présenter la moindre difficulté.

67. EXEMPLE. 2. La figure 129 est l'épure du comble d'un pavillon carré dans lequel la disposition des fermes est la même que dans le précédent, avec cette différence que, supposant les dimensions du plan du pavillon plus considérables dans celui-ci que dans le premier exemple, outre les fermes EF, GH perpendiculaires aux murs qui les supportent, et les fermes de croupe, nous avons indiqué de petites demi-fermes KL, MN, PQ, RS, vers les angles, lesquelles viennent se réunir à des poinçons moisés O, T qui sont assemblés dans les fermes de croupe, et dont la base est un exagone O, T indiqué en projection horizontale. Ces petites demi-fermes servent à diminuer la portée des premières pannes vers le bas du comble. Le rabattement des demi-fermes de croupe est XYZ, qu'on a obtenue comme nous l'avons expliqué dans le premier exemple, d'après celui *abc* de la ferme EF, avec cette différence, qu'ici on l'a rabattue hors de la projection horizontale, par le moyen d'arcs de cercle qu'on voit ponctués dans l'épure, lesquels sont décrits du point *e* comme centre, pris arbitrairement sur le prolongement de la diagonale IC, et se terminent à la ligne de terre *ef*, parallèle à CB. VU est le rabattement du poinçon O. Dans cette épure, on voit que les grosseurs des bois sont dans des proportions convenables.

68. EXEMPLE 3. Supposons un bâtiment dont le plan soit le rectangle ABCD (fig. 130), et que l'on veuille que le comble de ce bâtiment soit à quatre

pentes, ayant la même inclinaison par rapport au plan horizontal. La disposition de ce comble sera très-facile, attendu que c'est presque la même que celle du comble précédent. Voici comment il faut la concevoir :

On menera la droite GI à égales distances des grands côtés AB, CD du plan; on fera GE et IF chacune égale à AG ou BI; par les points E et F, et les sommets A, B, C, D du plan, on menera les droites EA, ED, FB, FC, qui seront les projections horizontales des intersections des faces du comble. La droite EF sera la projection horizontale de l'intersection des faces opposées qui répondent aux côtés AB, DC du plan. Cela posé, on tracera les projections horizontales AE, DE, BF et CF des fermes diagonales, et celles GE, HE, KE, LF, IF, etc., des demi-fermes qui sont perpendiculaires aux murs qui leur servent d'appui. Celles qui aboutissent au point E auront un poinçon commun, qui descendra plus bas que les demi-tirans de toutes ces fermes d'environ 30 centimètres, dans lequel ces demi-tirans et les arbalêtriers s'assembleront à tenons. Il en sera de même pour les fermes qui aboutissent au point F. Ces poinçons seront à base exagonale; leurs projections horizontales seront les exagones dont les centres sont les points E et F; on observera, en projection horizontale, que, pour diminuer la grosseur du poinçon, on a délardé latéralement les demi-tirans et les arbalêtriers, comme il a été expliqué dans le premier exemple. Si la distance comprise entre les points E et F ne surpasse pas 4 mètres, il ne sera pas nécessaire d'un plus grand nombre de fermes; dans le cas contraire, entre les fermes dont les axes passent par les points E, F, on en intercalera une ou plusieurs, suivant qu'on le jugera nécessaire, d'après la grosseur des pannes et la charge plus ou moins considérable de la toiture, lesquelles s'appuieront sur les murs opposés AB, DC.

Après avoir ainsi disposé les fermes du comble, on dessinera la véritable forme de chacune d'elles en projection verticale, en commençant par l'une de celles qui sont perpendiculaires aux murs qui les soutiennent. Nous avons déterminé la projection verticale des deux demi-fermes, dont les projections horizontales sont GE, FI. Les projections verticales des tirans de ces demi-fermes sont MN et QR; celles de leurs arbalêtriers sont OP, ST, et celles des poinçons UV, XY. On remarquera que les têtes de ces poinçons s'élèvent jusqu'aux plans qui passent par les faces supérieures des pannes, et que les arbalêtriers et le faîtage VY s'assemblent à tenons dans les mortaises pratiquées dans le haut de ces poinçons.

Pour avoir la véritable forme *abc* des fermes de croupe, c'est-à-dire de celles qui soutiennent les intersections du comble, on se conduira comme il

a été expliqué dans le premier exemple, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure par les lignes ponctuées. On observera que l'arbalêtrier de cette ferme de croupe doit être surhaussé par une doublure *cd*, tout comme dans le premier exemple, et pour la même raison, qui est de donner un point d'appui au bout supérieur de chaque chevron qui aboutit à l'une des intersections des faces du comble.

Quant à la manière de tracer les différens morceaux de bois de ce comble, on se conduira pour chacun selon son espèce, comme nous l'avons expliqué très en détail pour ceux du premier exemple.

69. EXEMPLE 4. Supposons (fig. 131) que ABCD soit le plan d'un pavillon carré, et que le comble de ce pavillon, qui est à quatre pentes formant une pyramide tronquée, à bases carrées, doive être surmonté d'une lanterne ou espèce de belvéder; pour disposer ce comble composé, on divisera chaque côté AB, BC, CD et DA du plan du pavillon en trois parties égales; par les points de division correspondans des côtés opposés du plan, on menera des droites qui seront les axes de demi-fermes QR, KL, EI, GH, MN, OP, etc. Les tirans et les arbalêtriers de ces fermes s'assembleront à tenons dans des mortaises pratiquées dans des poinçons X, V, Y.... qui se prolongeront jusqu'à la hauteur du toit *esh* (fig. 132), ainsi que l'indiquent les projections verticales EF, GH (fig. 132) de ces poinçons. Pour contrebouter les arbalêtriers des demi-fermes opposées QR et PO, KL et MN, etc. (fig. 131), on assemblera à tenons (au niveau des têtes supérieures de ces arbalêtriers, et d'un poinçon à l'autre), des pièces de bois horizontales, dont les projections horizontales sont *ab*, *cd*, *ef* et *gh*, et dont NO (fig. 132) est la projection verticale de l'une d'elles, qui, comme on voit (fig. 132), contreboute les arbalêtriers IK, ML. Les rectangles *i*, *k* (fig. 132), tracés sur les faces des poinçons EF, GH, sont les profils d'autres pièces horizontales en retour de NO, qui s'assemblent de même et au même niveau dans les poinçons. Pour contenir le bas des poinçons, dans la direction des demi-tirans AC, DB (fig. 132), on interposera une pièce de bois horizontale PQ au même niveau, qui s'assemblera à tenons dans le bas des poinçons, comme les demi-tirans. Les rectangles *l*, *m* sont les profils de pareilles pièces de bois assemblées au même niveau dans le bas des poinçons, en retour d'équerre par rapport à PQ. On voit que sur les arbalêtriers IK, ML on a placé les pannes dont les profils sont *n*, *o*, ce qui nécessite des sablières *pq*, *a* et *b* pour soutenir le bout supérieur des chevrons. Il aurait mieux valu assembler les pannes à tenons et mortaises dans les arbalêtriers, ce qui aurait évité, 1°. les sablières *pq*, *a* et *b*, les pièces horizontales NO, *i* et *k*, taillées en pente par dessus, se trouvant alors dis-

posées pour recevoir les bouts supérieurs des chevrons, et 2°. les doublures B″T′ (fig. 131) placées sur les arbalêtriers de croupe, pour donner un point d'appui aux bouts supérieurs des chevrons qui viennent se joindre en retour aux intersections des pentes du comble du pavillon, ce qu'on voit exprimé dans la figure 133, qui est l'épure d'un comble parfaitement semblable à celui qui nous occupe en ce moment, avec cette seule différence, que les pannes sont assemblées dans les arbalêtriers, ainsi que nous venons de le conseiller.

Quant au comble qui soutient la couverture du belvéder, la disposition des projections horizontales *ik*, *lm*, *no*, *pq*, *rs*, *tu*, *v*Y et *x*X (fig. 131) des solives principales, et les projections verticales *ef*, *gh* (fig. 132) des mêmes solives, ainsi que celle *rs* du poinçon qui les réunit, suffisent pour en faire sentir l'arrangement. Les chevrons $y''z''$ sont assemblés à tenons dans les pièces de croupe *rs*, *tu*, *x*X, *v*Y. Je n'expliquerai pas la manière d'avoir la véritable forme de la demi-ferme de croupe, tant pour ce qui appartient au comble principal, que pour ce qui appartient au comble du belvéder, en ce qu'elle est la même, à peu de chose près, que celle que nous avons expliquée dans le premier exemple, ce dont on peut se rendre compte, en examinant avec attention les lignes d'opération de la figure 131, où B″T′X′Z′ est la véritable forme dont il s'agit. Toutefois nous ferons observer que le tirant BT et l'arbalêtrier de la demi-ferme de croupe ne viennent pas s'assembler dans le poinçon X, mais dans des écharpes *yz* qui s'assemblent, l'une dans les tirans et l'autre dans les arbalêtriers des fermes QR, FX qui aboutissent au poinçon X. Les profils de ces écharpes sont y' et z', et leur véritable longueur sera celle de la projection horizontale *yz*.

Quant à la manière de tracer les diverses pièces de bois de ce comble, elle est encore la même que celle que nous avons expliquée, pour chacune selon son espèce, dans le premier exemple de combles, eu égard aux détails qu'indique l'épure.

70. EXEMPLE 5. Supposons qu'il s'agisse de faire un comble pyramidal sur un plan quadrilatère quelconque A′B′C′D′ (fig. 134); on tracera, sur l'épaisseur des murs, un quadrilatère ABCD qui soit semblable à celui A′B′C′D′ formé par les traces horizontales des faces extérieures des murs, et on regardera ce quadrilatère ABCD comme la base de la pyramide dont les faces doivent être celles sur lesquelles les dessus des pannes doivent se trouver. On divisera les côtés AB, BC, CD et DA de ce même quadrilatère en deux également aux points H, F, G et E; par les points opposés H et G, E et F, on menera les droites HG, EF, qui seront les axes de deux fermes, dont on voit les projections horizontales, qui viendront s'assembler dans un poinçon

commun dont la projection horizontale est l'octogone irrégulier I. Ensuite, par le point I où les deux droites EF, GH se coupent, et les sommets A, B, C et D de la base ABCD des faces supérieures des pannes du comble, on mènera les droites IA, IB, IC et ID, qui seront les projections horizontales des intersections de ces mêmes faces sur lesquelles seront les dessous des chevrons. Ces mêmes droites IA, IB, IC et ID seront les milieux de l'épaisseur ou les axes des fermes de croupe, dont on voit les projections horizontales. Cela posé, on procédera à la détermination de la projection verticale de chacune des fermes de ce comble, en supposant que les pannes, au lieu de s'appuyer sur les arbalêtriers, seront assemblées dans ces derniers à entailles ou à tenons et mortaises, de manière que les faces supérieures et des pannes et des arbalêtriers soient sur les mêmes plans, qui sont les faces de la pyramide dont la base est le quadrilatère ABCD.

Commençons par la ferme dont la projection horizontale est EF. On mènera, en dehors du plan du bâtiment, une droite E'F' parallèle à l'axe EF de la ferme; par les points E, F où cet axe EF rencontre les côtés DA, CB de la base de la pyramide dont il a été question ci-dessus, on élevera, à cet axe EF, les perpendiculaires EE', FF', qui donneront sur la droite E'F' les pieds des axes des arbalêtriers en projection verticale. Par le point I on élevera la droite I*a* perpendiculaire à EF, on fera la hauteur *ba* égale à celle qu'on voudra donner au sommet de la pyramide sur les faces de laquelle sont les faces du dessus des arbalêtriers et des pannes, et par le point *a* et les points E' et F' on menera des droites E'*a*, F'*a*, que nous n'avons point menées pour ne pas charger l'épure, lesquelles droites E'*a*, F'*a* seront les projections verticales des droites menées sur le milieu des dessus des arbalêtriers.

Puis, par les points où les projections horizontales des faces latérales de la ferme EF rencontrent les côtés DA, CB de la base de la pyramide dont nous avons déjà parlé plusieurs fois, on élevera à la droite EF les perpendiculaires qui sont ponctuées, et qui vont rencontrer la droite E'F' en des points voisins des points E', F', par lesquels on menera des parallèles (qui sont tirées lignes pleines) aux droites E'*a*, F'*a*, qui seront les projections verticales des arêtes des faces supérieures des arbalêtriers. On menera les droites *cd*, *ef*, parallèles à E'*a* et F'*a*, et à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner aux arbalêtriers; on tracera la projection verticale *ab* du poinçon, ainsi que les lignes ponctuées qui partent des sommets de l'octogone I l'indiquent; on menera la droite *gh* parallèle à E'F' et à une distance égale à l'épaisseur du tirant, et la projection verticale de la ferme EF sera terminée, sauf ce qui est relatif aux pannes.

Pour ceci, on distribuera les pannes sur les droites E′a, F′a (que nous n'avons pas menées), comme pour une ferme ordinaire, et par les sommets des rectangles qui seront les projections verticales des intersections de ces pannes avec un plan vertical élevé sur la droite de milieu EF, on abaissera des perpendiculaires sur cette dernière droite EF; par les pieds de ces perpendiculaires on menera les droites KL, MN, OP et QR, ST, UV, les premières parallèles à AD, et les autres à BC, qui seront les projections horizontales des pannes qui devront s'assembler dans les arbalêtriers de la ferme EF. Pour avoir les projections verticales des intersections des faces de ces pannes, avec les faces latérales des arbalêtriers de la ferme EF, par les points où les droites KL, MN, OP, et QR, ST, UV rencontrent les projections horizontales des faces latérales de cette ferme EF, on élevera à la droite EF les perpendiculaires que l'on voit ponctuées dans l'épure, lesquelles iront rencontrer respectivement des droites horizontales menées par les sommets des projections verticales des intersections des pannes avec le plan vertical élevé sur la droite EF, en des points par lesquels on menera des droites qui seront les projections verticales demandées.

Ces projections seront nécessaires pour tracer dans les arbalêtriers les entailles ou mortaises dans lesquelles les bouts des pannes doivent s'assembler.

On opérera de la même manière pour avoir la projection verticale H′a′G′ de la ferme HG, ainsi que les lignes ponctuées qui s'y rapportent l'indiquent, en ayant l'attention de faire la hauteur $b'a'$ égale à celle ba de la première ferme. Cela fait, on procédera à la détermination de la projection verticale de chacune des demi-fermes de croupe. Supposons qu'il s'agisse de celle dont la projection horizontale est IB. On menera une droite B″B‴ parallèle à BI, et à une distance quelconque; par les points B et I on élevera les perpendiculaires BB″, II′ à la droite BI; on fera la hauteur B‴I′ égale à ba, et par les points B″ et I′ on menera la droite B″I′, qui sera la projection verticale de l'intersection des faces contiguës du comble qui répondent à la ferme de croupe en question. Pour avoir celles des arètes latérales et du dessus de l'arbalêtrier, par les points i, k, où les projections horizontales des faces latérales de cet arbalêtrier rencontrent les côtés BC, BA de la base ABCD des faces du comble, on élevera les droites ii', kk' perpendiculaires à BI, qui rencontreront la droite B″B‴ aux points i', k', par lesquelles on menera les droites $i'i''$, $k'k''$ parallèles à B″I′, qui seront les projections verticales demandées. Quant à celle mn du dessous de l'arbalêtrier, on l'obtiendra en menant une parallèle mn à la droite B″I′, et à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner à cet arbalêtrier.

Pour avoir les projections verticales des intersections des pannes avec les faces latérales de l'arbalêtrier de croupe, par les points où les projections horizontales des arètes des pannes vont rencontrer celles des faces latérales des arbalêtriers, on élevera à la droite BI des perpendiculaires qu'on voit ponctuées, et à partir de la droite B″B‴ on fera, en contre haut, ces droites respectivement égales aux hauteurs des sommets des pannes, qu'on prendra dans les projections verticales H′*a*′G′, E′*a*F′ des premières fermes, à partir du dessus du tirant, en observant que les hauteurs prises dans la ferme E′*a*F′ seront portées sur les perpendiculaires à BI qui partent des points Q, S, U, et celles prises dans la ferme H′*a*′G′ seront portées sur les autres perpendiculaires à BI. En joignant par des droites les points ainsi déterminés, on aura les projections verticales demandées.

On obtiendra de la même manière les projections verticales A″I″A‴, C‴I‴C″, D″I^{iv}D‴, des autres demi-fermes de croupe IA, ID et IC, et on aura tout ce qu'il faut pour tracer les demi-tirans, les arbalêtriers, les pannes et le poinçon du comble, ce qu'on fera en suivant la méthode que nous avons expliquée dans la description du premier exemple de comble à plusieurs pentes. On observera que chaque morceau de bois destiné à un arbalêtrier doit être préalablement équarri et dressé à vives arètes, d'après sa section droite, qui n'est rectangulaire dans aucun de nos arbalêtriers. Voici comment on aura cette section droite pour chaque arbalêtrier.

Supposons qu'il s'agisse de l'arbalêtrier H′*a*′; quelque part qu'on voudra on menera la droite *oq* perpendiculaire à H′*a*′; on menera la droite quelconque *ab* (fig. 135), qu'on fera égale à la largeur de l'arbalêtrier, qu'on prendra sur sa projection horizontale; par les points *a* et *b* on élevera les droites *ac*, *bd* perpendiculaires à *ab*; on fera ces deux droites *ac*, *bd* respectivement égales à *op*, *oq* (fig. 134); on joindra les points *c* et *d* (fig. 135) par la droite *cd*, et la figure *abdc* sera la section droite d'après laquelle on équarrira l'arbalêtrier H′*a*′ (fig. 134). On trouvera la section droite de chacun des autres arbalêtriers de la même manière, sauf celles des fermes de croupe, qu'on obtiendra ainsi qu'il suit.

Supposons qu'il s'agisse de la section droite de l'arbalêtrier de croupe dont BI est la projection horizontale; on menera la droite *ru* perpendiculaire à *mn*; on menera la droite *ab* (fig. 136), sur laquelle on fera les distances *af*, *fb* chacune égale à la demi-largeur de l'arbalêtrier, prise en projection horizontale; par les points *a*, *f* et *b* on élevera les perpendiculaires *bc*, *fd* et *ae*; on fera la première *bc* égale à *rs* (fig. 134); la seconde *fd* (fig. 136) égale à *ru* (fig. 134), et la troisième *ae* (fig. 136) égale à *rt*

(fig. 134); ensuite, on joindra les points *c*, *d* et *e* (fig. 136) par les droites *cd*, *de*, et la figure *abcde* sera la section droite demandée. On se conduira de même pour avoir la section droite des autres fermes de croupe.

Quant aux chevrons, on les distribuera sur place, quand les fermes et les pannes seront posées, et au moyen d'une règle et d'un fil à plomb on tracera l'obliquité de leurs têtes : il serait trop long de déterminer dans l'épure, et leurs véritables longueurs, et l'inclinaison des têtes. En général, dans la pratique, il faut éviter, autant que possible, les procédés qui entraînent à de nombreuses opérations, parce que, quoique rigoureux en théorie, ils le sont d'autant moins en pratique, qu'ils font dépendre ce que l'on cherche d'un plus grand nombre d'opérations. C'est pour cela que quelquefois nous indiquerons des moyens qui ne seront qu'approximatifs, mais susceptibles, par leur simplicité, de donner des résultats aussi exacts que les moyens rigoureux. Cependant, pour ne rien laisser à désirer, nous allons expliquer comment on doit s'y prendre pour avoir la véritable longueur d'un solive, ainsi que l'obliquité de ses deux têtes.

Pour cela, supposons que $vxx'v'$ soit la projection horizontale d'un des chevrons de la pente dont la projection horizontale est le triangle AIB (fig. 134); cela posé, par le point x' on élevera, à la droite BI, la perpendiculaire $x'z$; puis, on menera une droite *ae* (fig. 137), sur laquelle on prendra un point *a* à volonté; on fera les longueurs *ab*, *ac*, *ad* respectivement égales à *yx*, $x'y'$ et yy'' (fig. 134); par les points *a* et *b* (fig. 137) on élevera les perpendiculaires *ag*, *bh*; on fera la première *ag* égale à la hauteur $z'z$ (fig. 134); par les points *g* et *c* (fig. 137) on menera la droite *gc*, à laquelle par le point *d* on menera la parallèle *dh*, et les deux droites *cg*, *dh* seront les projections verticales des arètes de la face inférieure de la solive en question. A la droite *cg* on menera la parallèle *nk* à une distance égale à l'épaisseur de cette solive ; à la même distance on menera la droite *oi* parallèle à *hl*; on joindra les points *g* et *h*, *n* et *o* par les droites *gh*, *no*, et le parallélogramme *ghon* sera la projection verticale de la tête de la solive qui répond au milieu de l'arbalêtrier de croupe BI. On fera les distances *af*, *ae* respectivement égales à $x'v'$, *yv* (fig. 134); par les points *f* et *e* (fig. 137) on abaissera les droites *fm*, *el* perpendiculaires à *ae*, on joindra les points *m* et *l*, *k* et *i* par des droites qui seront parallèles à *ae*, et le rectangle *mkil* sera la projection verticale de la tête du bas du chevron. Cela fait, on menera la droite *ps* d'équerre à *gc*, qui sera la projection verticale de la section droite du chevron; puis on menera la droite *ab* (fig. 138), que l'on fera égale à la largeur du chevron, prise dans la projection horizontale

dessus du tirant; par le point B (fig. 140) on menera la droite BB′ perpendiculaire à BE, et on prolongera E′R jusqu'en B′. Sur la droite *ag* (fig. 141), on fera les distances *ab*, *ac*, *ad*, *a*I, *ae*, *ah*, *af* et *ag*, respectivement égales à B′*a*′, BQ, B′R, BI, BL, B′*y*′, BE et B′E′ (fig. 140) (ainsi que les arcs de cercle décrits du point *b*′, comme centre, et terminés à la droite *b*′*c*′, parallèle à BC, l'indiquent); par le point I (fig. 141), on élevera, à la droite *ag*, la perpendiculaire II′, qu'on fera égale à la hauteur *te* (fig. 140) du sommet du faîtage de la ferme ordinaire, et par le point I′ (fig. 141) et les points *a* et *f*, on menera les droites *a*I′, I′*f*, qui seront les rabattemens des intersections des plans qui passent par les faces supérieures des pannes. Par les points *b* et *g*, on menera les droites *bi*, *gk* respectivement parallèles à *a*I′, *f*I′, qui seront les rabattemens des arètes latérales des faces supérieures des doublures à mettre sur les arbalêtriers, pour servir de points d'appui aux bouts des chevrons qui viennent se joindre aux intersections des faces des combles (n°. 59). Par les points *c*, *d*, *e* et *h*, on menera les droites *cl*, *dm*, *ep* et *hn* parallèlement aux droites *a*I′, *f*I′, et la première et la troisième seront les rabattemens des interjections des plans menés par les faces inférieures des pannes, et la seconde et la quatrième seront les rabattemens des intersections, avec les mêmes plans, des faces latérales des arbalêtriers; de sorte qu'en donnant aux arbalêtriers l'épaisseur qu'ils doivent avoir, et en rabattant les poinçons moisés, la ferme qui soutient les intersections des faces des combles sera dessinée, sauf le passage des pannes dans les doublures des arbalêtriers, qu'on obtiendra comme il a été expliqué au n°. 59, en supposant la projection horizontale BE de la ferme, tournant autour du point *b*′, jusqu'à ce que son axe *b*′E devienne la droite *b*′*c*′ regardée comme étant la ligne de terre de la projection verticale *a*I′*g* (fig. 141) de cette ferme. Les arcs de cercle ponctués et décrits du point *b*′ comme centre, et les perpendiculaires également ponctuées, élevées sur la droite *b*′*c*′ par les points où les arcs de cercle dont il vient d'être question rencontrent cette dernière droite *b*′*c*′, indiquent du reste suffisamment la manière d'opérer.

Déterminons, maintenant, la forme de la ferme dont la projection horizontale est GH, et contentons-nous d'en dessiner la moitié, les deux moitiés étant symétriquement égales. Nous observerons d'abord qu'ici il ne faut pas de doublures sur les arbalêtriers, vu que les chevrons ont la portée qui leur est nécessaire sur les pannes qui passent sans interruption sur les arbalêtriers. En conséquence, on menera la droite *ab* (fig. 142) quelque part qu'on voudra; on prendra un point G′ (fig. 140) quelconque sur la diagonale GH prolongée; par le point G′ on menera la droite G′I′ parallèle à *ab* de la

figure 142; par le point G′ comme centre, et avec le rayon G′K (le point K étant celui où la trace horizontale QK du plan qui passe par les faces supérieures des pannes rencontre l'axe KM de la ferme en question), avec le rayon G′K, dis-je, on décrira l'arc de cercle KK′; par le point K′ où cet arc viendra rencontrer la droite G′I′, on élevera une perpendiculaire à cette dernière, qui rencontrera la droite *ab* (fig. 142) en un point *d*; avec le rayon G′I (fig. 140) on décrira, du point G′ comme centre, l'arc II′; par le point I′ où cet arc viendra rencontrer la droite G′I′, on élevera une perpendiculaire qu'on prolongera indéfiniment au-delà de la droite *ab* de la figure 142; dans cette figure 142 on fera la hauteur *bc* égale à celle *tb* (fig. 140) du sommet des arbalétriers de la ferme primitive; on joindra les points *d* et *c* (fig. 142) par la droite *dc*, qui sera le rabattement de la droite qui passe par le milieu du dessus de l'arbalêtrier de la ferme qui nous occupe. Pour avoir les rabattemens *af*, *eg* des arètes latérales de la même face du même arbalêtrier, par les points *l* et *m* (fig. 140) on abaissera les perpendiculaires *ll′*, *mm′*, par les points *l* et *m*, sur la droite GM; par le point G′, comme centre, et avec les rayons G′*l′*, G′*m′*, on décrira les arcs de cercle *l′l″*, *m′m″*; par les points *l″*, *m″* où ces arcs rencontreront la droite G′I′, on élevera des perpendiculaires à cette dernière, qui rencontreront la droite *ab* de la figure 142 aux points *a* et *e*, par lesquels on menera les droites *af*, *eg* parallèles à *dc*, qui seront les rabattemens demandés. On menera ensuite la droite *hi* parallèle à *dc*, et à la distance qu'on jugera convenable, pour marquer l'épaisseur de l'arbalêtrier, et le rabattement de la demi-ferme en question sera terminé.

Donnons actuellement la forme de la section droite des arbalêtriers et des doublures des fermes diagonales, pour servir à les équarrir et à faire concevoir leur forme.

Supposons qu'il s'agisse de celle de l'arbalêtrier de la figure 142; après avoir mené la droite *mk* perpendiculaire à *af*, on menera, à part (fig. 143), la droite *ab*, à laquelle on menera les perpendiculaires *ad*, *bc*, (à une distance l'une de l'autre égale à la largeur de l'arbalêtrier), que l'on fera respectivement égales à *km*, *kl* (fig. 142), et en joignant les points *d* et *c* (fig. 143) par la droite *dc*, la figure *abcd* qui en résultera sera la section droite demandée, qui fait voir que le dessus de l'arbalêtrier n'est pas parallèle au dessous, afin que le dessus suive la pente du comble.

La section droite de l'arbalêtrier et de la doublure de croupe étant semblable à celle que nous avons expliquée au numéro 59, nous nous contenterons de donner celle de l'arbalêtrier et de la doublure de noue.

Pour y parvenir, après avoir mené la droite *or* (fig. 141) perpendiculaire à

kg, on menera, à part (fig. 144), la droite *ad*, à laquelle on élevera les perpendiculaires *ah*, *cg*, *df*, distantes entre elles de la demi-largeur de l'arbalêtrier ; ensuite on fera les hauteurs *de* et *ai* égales à *op* (fig. 141) ; celles *df* et *ah* (fig. 144) égales à *or* (fig. 141), et celle *cg* (fig. 144) égale à *oq* (fig. 141) ; puis on joindra les points *e* et *i* (fig. 144) par la droite *ie*, et le rectangle *adei* sera la section droite de l'arbalêtrier ; on joindra les points *f*, *g* et *h* par les droites *fg*, *gh*, et la figure *iefgh* sera la section droite de la doublure. On voit que le dessus de cette doublure est creusé en forme de caniveau : c'est sur les deux faces de ce dessus que les bouts inférieurs des chevrons viennent s'appuyer.

Quant à la manière de tracer les morceaux de bois de notre comble, elle est la même que celle du n°. 60 et suivans. On remarquera que les tirans des fermes diagonales seront entaillés à demi-épaisseur dans leur milieu où ils se croisent, et les arbalêtriers seront coupés en pointe ou à onglet à deux faces d'équerre entre elles, ainsi qu'on le voit indiqué en projection horizontale, par les diagonales *ru*, *sv* du carré *rsuv* (fig. 140).

72. EXEMPLE 2me. Quand les pieds Q, K (fig. 140) des fermes diagonales sont très-écartés, et que, par cette raison, les pannes qui sont près des murs ont une trop grande portée, on peut disposer de petits bouts de fermes, représentés en projection horizontale par AB, CD, EF et GH (fig. 145), qui s'assembleront dans les poinçons moisés B, D et H des fermes diagonales, auxquels on donnera la forme qui est indiquée en projection horizontale, pour qu'ils présentent une face à l'arbalêtrier de chaque ferme. La projection verticale de l'un des bouts de ferme AB, CD, EF, GH, est la partie *abc* de celle *adc* d'une des fermes courantes des deux combles égaux qui se rencontrent. Du reste l'épure de cet exemple (fig. 145) est la même que celle de la figure 140, ainsi qu'on peut s'en assurer par l'examen des lignes d'opération. Le rabattement de la ferme KL est *fgh*, et celui de la moitié de la ferme MN est *ikl*.

73. EXEMPLE 3me. L'inspection seule de la figure 146 suffira pour faire comprendre la disposition des fermes et portions de ferme de deux combles sur-exhaussés égaux, qui se rencontrent de la même manière que dans les deux exemples qui précèdent; car, cette disposition, à cela près que les fermes sont sur-exhaussées, est la même que dans ces deux exemples précédens. Ainsi nous nous dispenserons de toute explication, pour éviter des répétitions ennuyeuses. Nous ferons remarquer cependant que les poinçons se composent de quatre morceaux de bois formant une croix grecque en projection horizontale, qui se réunissent en faisceau, et à onglet, au moyen de

boulons de fer placés à des hauteurs différentes, et dans des directions perpendiculaires entre elles (*).

74. EXEMPLE 4[me]. Si les deux bâtimens qui se rencontrent en retour d'équerre n'étaient pas de même largeur, pourvu que les deux faîtages fussent à la même hauteur, on disposerait encore les fermes de la même manière que dans les exemples qui précèdent; et cette disposition est tellement semblable aux précédentes, que je me dispenserai d'en donner l'épure, et je ne crois pas même nécessaire de prévenir qu'il faudra dessiner le profil d'une ferme courante du grand comble, et celui d'une ferme analogue du petit. On conçoit du reste, que le faîtage étant à la même hauteur, les pentes du petit comble seront plus rapides que celles du grand.

75. EXEMPLE 5[me]. Mais si, les deux bâtimens qui se rencontrent en retour d'équerre n'étant pas de même largeur, les deux faîtages étaient à des hauteurs différentes, alors on disposerait les fermes ainsi qu'il suit :

Soient AB, DC (fig. 147) les deux murs du petit bâtiment, et AF, DE ceux du grand. Supposons que les pentes des deux combles fassent le même angle avec l'horizon. Cela posé, il est clair que les projections horizontales DI, AL des faces adjacentes de ces combles seront des droites DI, AL qui formeront des angles de 45°. avec les traces horizontales des faces des murs AB, AF. La projection horizontale HI, de l'arète supérieure du faîtage du petit comble, viendra rencontrer la droite DI en un point I, qui sera la projection horizontale du point où cette arète vient rencontrer la pente du grand comble qui répond au mur DE. De même, la projection horizontale KL, de l'arète supérieure du faîtage du grand comble, viendra rencontrer la droite AL en un point L, qui sera la projection horizontale du point où cette arète vient rencontrer la pente du petit comble qui répond au mur AB, prolongée au-delà de son faîtage HI. Les points I et L appartiennent donc à la fois aux deux pentes de chaque comble; par conséquent la droite IL, qui joindra ces deux points I, L, sera la projection horizontale de l'intersection de la pente du grand comble qui répond au mur DE avec celle du petit comble qui répond au mur AB ; de sorte que, la projection horizontale de la pente qui répond à ce dernier mur sera HILAB, et celle qui répond au mur DE sera KLIDE. Cela posé, on placera une ferme DG dans la direction de la projection horizontale DI de l'intersection des deux pentes qui répondent aux murs DC, DE, de manière que

(*) Cet exemple est une imitation du comble du marché Saint-Germain de Paris, construit par M. Blondel, architecte.

cette intersection se trouve au milieu de l'épaisseur de l'arbalêtrier. On placera de même une ferme AE, dans la direction de la projection horizontale AL de l'intersection des pentes qui répondent aux murs AB, AF, et de manière aussi que cette intersection se trouve au milieu de l'épaisseur de l'arbalêtrier. L'arbalêtrier de la ferme GD, dont la projection horizontale est DI, portera la noue, étant surmonté d'une doublure, et l'autre arbalêtrier de la même ferme, dont la projection horizontale est IG, recevra seulement les pannes par son dessus, taillé suivant l'obliquité qui lui convient. Quant à l'arbalêtrier de la ferme AE, dont la projection horizontale est AL, il portera la croupe étant surmonté d'une doublure, et l'autre LE recevra seulement les pannes par son dessus taillé suivant l'obliquité qui lui convient. Les deux fermes AE, GD seront armées chacune d'un poinçon L, I en leur milieu, auquel viendra s'assembler une demi-ferme NL, MI. Aussi près que possible des deux fermes AE, GD, on placera les deux fermes courantes FP, BO, perpendiculairement aux murs qui doivent les soutenir ; on en tracera les profils *abc*, *def*, comme à l'ordinaire ; on distribuera les pannes dans chacun de ces profils, sans avoir égard à l'autre, et on déterminera les projections horizontales de ces pannes et des faîtages, ainsi que celle IL d'un petit faîtage incliné, qui se raccordera avec les deux principaux IH, LK, comme on le voit dans l'épure. On remarquera la projection verticale *eg* de ce petit faîtage incliné, dans le profil de la ferme BO.

Cela fait, on déterminera le profil ou rabattement QRS, TUV des fermes GD, AE, par les moyens déjà expliqués, et il ne restera plus à obtenir que la vue latérale des poinçons moisés I, L, qui sont *ac*, *bd* (fig. 148), ainsi que les véritables longueurs et inclinaisons du faîtage IL. Dans cette figure 148, les rectangles *a*, *b* sont les coupes des tirans des fermes GD, AE (fig. 147), et les figures *c*, *d* (fig. 148), sont celles des arbalêtriers de ces mêmes fermes. Les figures *cife*, *dhkg* sont les projections verticales des faîtages dont les projections horizontales sont IH, LM (fig. 147), et par conséquent la figure *edhi* (fig. 148) est le rabattement du faîtage incliné dont il est question. Cela fait, l'épure sera complète, de sorte qu'en déterminant la section droite de chaque morceau de bois, comme il a été expliqué ailleurs, on pourra les tracer tous par la méthode déjà rappelée plusieurs fois.

76. EXEMPLES 6 et 7. Si les bâtimens ne se rencontraient pas à angle droit, la figure 149 présenterait la manière de disposer les fermes et de faire l'épure, pour le cas où les deux bâtimens seraient de même largeur, et la figure 150, pour celui où ces deux bâtimens seraient de largeurs inégales, les faîtages n'étant pas au même niveau, mais les pentes des combles faisant le même

angle avec l'horizon. On observera que, en conséquence de l'égale inclinaison des pentes, les projections horizontales AI, EK de leurs intersections diviseront en deux parties égales les angles formés par les traces horizontales des faces des murs, et seront par conséquent parallèles. Les deux faîtages FI, KG seront réunis par le petit faîtage incliné IK, dont on trouvera le rabattement *ab* (fig. 151), comme celui de la pareille pièce de bois de l'exemple du numéro précédent.

77. EXEMPLE 8. Supposons deux bâtimens qui se rencontrent ainsi qu'il est indiqué en projection horizontale, dans la figure 152, par les murs AB, CD, EF et GH. Pourvu que les deux faîtages soient au même niveau, ainsi que les dessus des tirans, il nous sera indifférent que les deux bâtimens soient de même largeur ou de largeurs inégales. Voici, dans l'un et l'autre cas, comment on disposera les fermes à l'endroit de la rencontre des deux combles.

On commencera par mener les droites VX, YI à égales distances des traces horizontales des faces intérieures des murs des deux bâtimens, lesquelles seront les projections horizontales des arètes des milieux des faces supérieures des faîtages; par le point I et les points O et R où les traces horizontales des faces extérieures des murs DC, EF, GH se rencontrent, on menera les droites IO, IR, qui seront les projections horizontales des intersections des faces des deux combles, lesquelles intersections formeront une noue. On disposera deux fermes RK, UO, dans la direction de ces intersections, le plus près possible desquelles on en disposera trois autres AC, BD et EG, perpendiculairement aux murs qui doivent les soutenir. Ces dernières seront des fermes courantes des deux combles; on en tracera respectivement les profils *abc*, *def*, en observant de faire les hauteurs *gb*, *he* égales entre elles. Dans chacun de ces profils, on distribuera les pannes, sans avoir égard à celle de l'autre profil, et on en déterminera les projections horizontales, pour pouvoir tracer le profil *klm* de l'une KR des fermes de noue, ce que l'on fera, comme dans les exemples précédens, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure par les droites ponctuées, perpendiculaires à RI.

Pour tracer les morceaux de bois, on suivra toujours la méthode que nous avons rappelée déjà plusieurs fois, en commençant toujours par déterminer la véritable forme de la section droite de chacun de ces morceaux de bois.

78. EXEMPLE 9. Supposons que deux bâtimens se rencontrent de la même manière que dans l'exemple précédent, mais que les deux faîtages ne soient plus au même niveau. Dans ce cas, on dessinera d'abord les profils *al'b*, *ced* fig. 153
des fermes courantes de chacun des combles, et ensuite on cherchera la projection horizontale I du point où l'arète supérieure du faîtage du petit ren-

contre la face du grand dont l'égout est sur le mur CF, et on l'obtiendra en faisant la hauteur *k*K égale à *i*I′ (ainsi que les lignes ponctuées IK″, K″K′ et et K′K l'indiquent), et en abaissant par le point K la droite KI perpendiculaire à *dc* : le I, où cette perpendiculaire viendra rencontrer la projection horizontale PI de l'arète supérieure du milieu du faîtage du petit comble sera le point demandé. Cela fait, par les points *b* et *c* où les droites I′*b*, *ec* viennent rencontrer les dessus *ab*, *dc* des tirans, on abaissera les droites *b*E, cE respectivement perpendiculaires aux droites *ab*, *dc*, lesquelles se rencontreront au point E, par lequel et le point I on menera la droite EI, qui sera la projection horizontale de l'intersection de la pente I′*b* du petit comble avec celle *ce* du grand : la même opération fait trouver la projection horizontale DI de l'intersection de l'autre pente du petit comble avec la même du grand. Suivant ces deux intersections, on disposera deux pièces de bois pour former les noues, dont les projections horizontales sont IE, ID, et le rabattement de l'une *qg*. Deux fermes ordinaires GM, HN du grand comble seront placées de manière que les bouts des tirans viennent s'entailler à demi-épaisseur avec ceux du tirant d'une ferme ordinaire DE du petit, de telle sorte que les pieds inférieurs des noues viennent, par enfourchement, s'appuyer sur la jonction de ces tirans, ainsi qu'on le voit dans l'épure, où l'on doit remarquer que *lm* est la quantité dont la noue descendra dans l'encoignure des tirans NH, DE, plus bas que les dessus de ces derniers. Pour soutenir les deux noues, on les assemblera à mortaises et tenons dans les bouts des pannes; et si l'une des pannes du grand comble passe par le point I où les deux noues viennent se joindre par en haut, on fera appuyer ces dernières sur cette panne au moyen d'une entaille convenable.

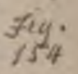
Si la distance entre les deux fermes GM, HN était considérable, et que les pannes fussent jugées trop faibles, on pourrait disposer une autre ferme OP, dont le bout P du tirant viendrait s'assembler dans le bas du poinçon moisé P de la ferme DE, que l'on ferait descendre plus bas que le tirant de cette dernière, lequel tirant serait embrassé en son milieu par le même poinçon. Dans ce cas, les bouts supérieurs des noues poseraient sur l'arbalêtrier de la ferme PO.

Enfin, dans certaines circonstances, il conviendrait peut-être de disposer deux fermes DB, EA dans la direction des noues, lesquelles alors poseraient dans toute leur longueur sur un des arbalêtriers de ces deux fermes, lesquelles se croiseraient au point I, où les tirans et les arbalêtriers seraient entaillés à demi-épaisseur. On pourrait, en cet endroit, mettre un poinçon, et un autre symétriquement vers les autres bouts des fermes. Ces derniers pourraient

donner le moyen d'ajuster de petites demi-fermes qui diminueraient la distance de A en B, en s'appuyant sur le mur AB. Par l'inspection de l'épure, le lecteur comprendra de reste les détails d'opération.

79. EXEMPLE 10. Supposons le contraire de l'exemple précédent, que ce soit le grand bâtiment qui rencontre le petit, les pentes des combles faisant toujours avec l'horizon des angles égaux.

Soient donc AB, CD les murs du petit bâtiment, et EF, GH ceux du grand; cela posé, comme les pentes des combles forment le même angle avec l'horizon, les projections horizontales GK, EL de leurs intersections diviseront les angles HGD, CEF formés par les traces horizontales des faces extérieures des murs en deux parties égales, ou bien, en d'autres termes, ces droites GK, EL seront à 45° sur la droite AB. Ces intersections sont celles de la face du petit comble dont l'égout est sur le mur CB, avec les deux faces de l'autre comble, et forment chacune une noue. On placera deux fermes GH, EI suivant ces mêmes intersections, lesquelles se croiseront vers le point Q, où elles s'assembleront à demi-épaisseur, tant pour les tirans que pour les arbalêtriers du côté du mur AB, lesquels seront taillés obliquement par dessus pour recevoir les pannes, tandis que les deux autres tirans qui ont leurs pieds aux points G, E seront surmontés d'une doublure qui formera la noue par dessus.



Près des extrémités G, E de ces fermes, on en placera d'autres CA, DB et FH perpendiculairement aux murs qui leur servent d'appui, et on dessinera les profils *abc*, *def* de ces dernières fermes, en ayant égard à la condition énoncée ci-dessus, que les pentes font le même angle avec l'horizon. Ensuite, on abaissera les projections horizontales RS, MN, TU, VX, PO et YZ, des pannes et des faîtages, et on observera que le faîtage PO du grand comble étant plus élevé que celui MN du petit, la face *fe* de ce dernier, dont l'égout est sur le mur AB, devra se prolonger jusqu'au point *g* où l'arête supérieure *gh* du faîtage du grand comble vient rencontrer cette face. La projection horizontale de ce point de rencontre est le point O; de là il suit que cette face *fe* du petit comble va rencontrer les deux du grand, suivant des droites dont les projections horizontales seront celles KO, LO qui joignent le point O et les points K, L, où la projection horizontale de l'arête supérieure du milieu du faîtage du petit comble rencontre celles GK, EL des noues. Suivant chacune de ces intersections KO, LO, on placera une pièce de bois qui sera une espèce de faîtage incliné. Les bouts K, L de ces faîtages poseront sur les têtes des poinçons des fermes GH, EI, et les autres bouts seront assemblés à tenons et mortaises dans le haut du poinçon O d'une fausse ferme que

nous allons expliquer. Le tirant *ik* de cette fausse ferme posera par les bouts sur les tirans des fermes GH, EI, et son épaisseur sera comprise dans celle des doublures qui portent les noues. Pour ne pas trop amincir les bouts de ce tirant, au lieu de les tailler en dessous suivant la pente des tirans sur lesquels ils posent, on fera une entaille en forme d'escalier à deux marches, sur le dessus de ces tirans, à l'endroit de la portée du tirant dont il s'agit. La forme de cette entaille est indiquée dans le profil *m* de ce tirant. Menons la droite *ln* parallèle à *ik*, et déterminons la projection verticale *lon* de cette fausse ferme, comme les lignes ponctuées l'indiquent, en observant de faire la hauteur *po* égale à *mg*. D'après cette projection, on voit que les pieds des arbalêtriers se raccordent avec les dessus des doublures des arbalêtriers des fermes GH, EI qui portent les noues, et qu'en conséquence les pannes VX, YZ viennent s'assembler à tenons et mortaises, ou à entailles dans ces arbalêtriers *lo*, *on*. D'après cette disposition, on conçoit qu'il ne sera pas nécessaire de continuer les pannes VX, YZ, comme on le voit dans l'épure, par la raison que les petits bouts X et Z, qu'il faudrait assembler dans les arbalêtriers de la fausse ferme, et dans les doublures des fermes de noue, seraient plutôt nuisibles qu'utiles. C'est pour cela que dans le rabattement *qrs* de la ferme EI, nous n'avons pas indiqué l'entaille, dans la doublure, nécessaire pour recevoir ces bouts de pannes. Dans ce rabattement *qrs*, on observera que la hauteur *tr* est égale à *ue*.

Il nous reste encore à donner le rabattement de l'un des faîtages LO, OK; donnons celui de OK; pour cela, sur une droite *ab* quelconque (fig. *a*), on élevera la perpendiculaire *ai*, que l'on prendra pour l'axe du poinçon O (fig. 154); on fera la distance *av* (fig. *a*), égale à OK (fig. 154), et on élevera la droite *vo* (fig. *a*), perpendiculaire à *ab*; cette droite *vo* sera l'axe du poinçon K de la ferme GH; on fera les hauteurs *ai*, *vo* (fig. *a*), respectivement égales à celles *vb*, *ue* (fig. 154) des fermes courantes des deux combles; on joindra les points *i* et *o* (fig. *a*), par la droite *io*, qui sera le rabattement de l'arète du milieu de la face supérieure du faîtage incliné en question. On menera la droite *cd* parallèle à *ab*, et à une distance égale à *ym* (fig. 154), et cette droite *cd* sera la projection verticale du dessus du tirant de la fausse ferme. On déterminera la projection verticale *elinh* du poinçon O; celle *xftsb* de celui K de la ferme GH, et celle *toqs* du faîtage *xe* (fig. 154), du petit comble. Cela fait, on achevera le rabattement demandé, en menant par les points *t* et *p* (fig. *a*), les droites *tu*, *pm* parallèles à *oi*, etc. Ainsi, en déterminant les sections droites de chaque pièce de nos combles, on aura tout ce qui est nécessaire pour les tracer et les tailler, d'après la méthode déjà rappelée plusieurs fois.

6me. LEÇON.

Des Combles à deux pentes, sur des bâtimens à bases quadrilatères irrégulières.

80. EXEMPLE I. Supposons que le quadrilatère ABCD (fig. 155) soit le plan d'un bâtiment irrégulier, et que le comble de ce bâtiment soit à deux pentes, sur les murs AD, BC. Comme le bâtiment est plus large d'un bout DC que de l'autre AB, il est clair que l'arète de l'égout de chaque pente étant de niveau, l'intersection des deux pentes ou, ce qui est la même chose, l'arète du milieu du dessus du faîtage ne le sera pas, si les faces du comble sont planes, ainsi que nous le supposons dans cet exemple. Cela posé, voici comment on disposera les fermes du comble, et comment on aura le profil ou rabattement de chacune d'elles.

D'abord, supposons un plan horizontal, passant par le dessus des tirans de toutes ces fermes, et que les droites EF, HG (parallèles aux traces horizontales AD, BC des faces des murs qui doivent porter les égouts, et à égales distances de ces mêmes traces) soient les projections horizontales des intersections, avec ce plan horizontal, des faces du comble. Ensuite, divisons chacune des droites EH, FG en deux également aux points I et K, par lesquels nous menerons la droite IK, qui sera la projection horizontale de l'arète du milieu du dessus du faîtage; menons la droite PQ parallèle à EH et à une distance quelconque; regardons cette droite PQ comme étant la trace verticale du plan horizontal qui passe par les dessus des tirans des fermes; par les points E, I et H, élevons à la droite PQ les perpendiculaires EP, IS et HQ; fixons la hauteur RS, que nous voulons donner au pignon, sur la face extérieure EH du mur DC, et par les points P, Q et S menons les droites PS, SQ : ces dernières droites détermineront les pentes du comble, contre la face extérieure du mur DC. Cela fait, menons la droite LM parallèle à la trace horizontale GF de la face extérieure du mur AB, regardons cette droite LM comme une seconde trace verticale du plan horizontal qui passe par les dessus des tirans des fermes; par les points F, K et G, élevons à cette droite LM les perpendiculaires FL, KO et GM, et déterminons les intersections LO, MO, avec la face extérieure du mur AB, des plans qui sont les faces du comble. Pour cela, par le milieu K de FG, menons la droite KK' parallèle à FE; par le point K' élevons, à la droite PQ, la perpendiculaire

K′K″; prenons la hauteur K‴K″ pour la porter de N en O; et par les points L, M et O, menons les droites LO, OM : ces dernières droites seront les intersections demandées.

Maintenant, nous procéderons à la détermination des projections horizontales des pannes, et ici se présente une difficulté qui consiste en ce que si l'on veut que les sections droites de ces pannes soient rectangulaires, il faudra déterminer : 1°. les projections tant horizontales que verticales des axes des dessus de ces pannes; 2°. les traces du plan de la section droite de chacune d'elles; 3°. les projections du point où l'axe du dessus de chaque panne viendra rencontrer le plan de sa section droite; 4°. le rabattement de ce point, ainsi que celui de l'intersection de chaque plan de section droite avec le plan qui est la face du comble sur laquelle est située la panne pour laquelle on opérera; 5°. dessiner dans ce rabattement le rectangle qui doit être la section droite de la panne, de manière que le milieu d'un côté de ce rectangle soit le pied de l'axe dans le plan de la section droite, et que ce même côté du rectangle coïncide avec le rabattement de l'intersection du plan de la section droite et de celui qui passe par la face supérieure de la panne; 6°. passer ensuite du rabattement de ce rectangle à ses projections; et 7°. par les sommets de la projection horizontale de ce rectangle, mener des parallèles à la projection horizontale de l'axe du dessus de la panne, lesquelles constitueront les projections horizontales de cette panne. Cela fait, nous allons expliquer comment on continuerait l'épure; mais avant, nous ferons observer que dans la pratique on peut se dispenser d'une aussi grande rigueur, et obtenir plus facilement les projections horizontales des pannes, en s'y prenant de la manière qui suit :

On divisera, aux points *a, b, c* et *d*, les intersections LO, MO, PS et SQ des pentes du comble, avec les faces extérieures des murs de pignon, en autant de parties égales qu'on voudra avoir de pannes; par les points de division *a*, *b*, *c* et *d* on abaissera les droites *aa′*, *bb′* perpendiculaires à FG, et les droites *cc′*, *dd′* perpendiculaires à EH; on joindra les points *a′* et *c′*, *b′* et *d′* par les droites *a′c′*, *b′d′* qui seront les projections horizontales des axes des dessus des pannes. Cela fait, on tracera les profils rectangulaires *a*, *b* des pannes sur le pignon LOM, qui n'est pas très-éloigné d'être la section droite commune à toutes les pannes (*); et ensuite, par les sommets de ces rectangles on abaissera des perpendiculaires à la droite FG; par les

(*) Rigoureusement parlant, les pannes, n'étant pas parallèles, n'ont pas de section droite commune.

pieds de toutes ces perpendiculaires, on menera des droites parallèles respectivement aux droites $a'c'$, $b'd'$, lesquelles parallèles seront les projections horizontales des arètes des pannes. On déterminera aussi la projection horizontale du faîtage, ainsi qu'on le voit dans l'épure, et ensuite, les traces des plans qui passent par les faces inférieures des pannes.

Pour cela, parallèlement aux droites OL, OM, on fera passer les droites ef, gh par les faces inférieures des pannes ; par les points f et h on abaissera les perpendiculaires fi, hk à la droite FG ; par les pieds i et k de ces perpendiculaires, on menera les droites ii', kk' respectivement parallèles aux traces horizontales EF, GH des plans des faces supérieures des pannes, et ces droites ii', kk' seront les traces horizontales des plans des faces inférieures des mêmes pannes. Les traces verticales des mêmes plans seront les droites fe, gh.

Cela fait, on divisera les côtés AD, BC chacun en autant de parties égales que l'on voudra mettre de fermes, plus une, dans la longueur du comble ; ici nous avons divisé ces côtés en trois parties égales pour avoir deux fermes, dont les projections horizontales des axes sont les droites TU, VX qui joignent les points correspondans de division de ces côtés. On tracera les épaisseurs des tirans de ces deux fermes en projection horizontale, et on cherchera ensuite les projections verticales ou les profils de ces fermes ainsi qu'il suit.

Supposons que les pannes, au lieu de poser sur les arbalêtriers, soient assemblées dans ces derniers, soit à entailles à demi-épaisseur, à queue d'aronde ou rectangulaires, soit à tenons et mortaises, de manière que les faces supérieures des pannes et des arbalêtriers soient sur les mêmes plans, et qu'il s'agisse de la ferme dont la projection horizontale est $lmno$.

On commencera par mener une droite quelconque ru parallèle à TU ; par les points l et m, n et o où les projections horizontales lo, mn des faces latérales des arbalêtriers rencontrent les traces horizontales FE, GH des plans qui passent par les faces supérieures de ces mêmes arbalêtriers, on élevera les droites ls, mr, ot et nu perpendiculaires à la droite TU ; par les points p et q où la projection horizontale KI de l'arète du milieu de la face supérieure du faîtage vient rencontrer celles des faces latérales des arbalêtriers, on élevera de même les perpendiculaires px, qv à la droite TU ; par les mêmes points p et q on menera les droites pp', qq' parallèles à la droite EF ; par les points p', q' où ces deux droites pp', qq' rencontrent la droite EH, on élevera à cette dernière les perpendiculaires $p'p''$, $q'q''$; on prendra les hauteurs $p'''p''$, $q'''q''$ pour les porter de x' en x et de v' en v ; par les points r et u et le point v, on

menera les droites *rv*, *uv*, et, par les points *s*, *t* et *x*, on menera les droites *sx*, *tx*, et ces quatre droites *rv*, *uv*, *sx* et *tx* seront les rabattemens des arètes de la face supérieure des arbalêtriers. Ensuite, parallèlement aux droites *rv*, *uv* on menera les droites *yz*, *y'z'* à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner aux arbalêtriers; on projetera le poinçon en supposant ses faces latérales perpendiculaires à la droite TU, pour que les têtes supérieures des arbalêtriers soient pressées par le poinçon perpendiculairement à la longueur des arbalêtriers, et le profil de la ferme en question sera tracé. On tracerait le profil de l'autre ferme dont la projection horizontale est VX par le même procédé, ainsi que les lignes ponctuées d'opération l'indiquent sur l'épure.

Si, ensuite, on veut avoir les intersections des pannes avec les faces latérales des arbalêtriers, par les points *l'*, *m'*, *o'*, *n'*, où les projections horizontales des faces latérales des arbalêtriers rencontrent les traces horizontales *ii'*, *kk'* des plans qui passent par les faces inférieures des pannes, on élevera les perpendiculaires *l's'*, *m'r'*, *o't'*, *n'u'* à la droite TU, lesquelles rencontreront la projection verticale *ru* du dessus du tirant en des points *s'*, *r'*, *t'* et *u'*, par lesquels on menera les droites *r'r''*, *s's''*, *u'u''*, *t't''* parallèlement aux droites *rv*, *vu*; par les points où les projections horizontales des arètes des pannes rencontrent celles des faces latérales des arbalêtriers, on élevera des perpendiculaires à la droite TU, lesquelles iront rencontrer les projections verticales des arètes supérieures des arbalêtriers, et celles relatives aux arètes inférieures des pannes (qui sont respectivement les droites *s's''*, *r'r''*, *u'u''* et *t't''*), en des points qui seront les projections verticales de ceux où les arètes des pannes vont rencontrer les faces latérales des arbalâtriers : on joindra donc ces points par des droites, et on aura les intersections demandées. Ces intersections serviront à tracer ou les entailles ou les mortaises, dans les arbalêtriers, qui doivent recevoir les pannes.

Comme les pannes ne sont pas de niveau, pour en avoir les véritables longueurs et la forme de la section droite, il faut déterminer le rabattement de chacune d'elles, ainsi qu'il suit :

Parallèlement à la projection horizontale *a'c'* de l'axe de l'une de ces pannes, on menera la droite YZ; par les points où les projections horizontales des arètes de cette panne rencontrent les traces horizontales FG, EH des faces extérieures des murs de pignon, on élevera des perpendiculaires indéfinies à la droite YZ; on fera les hauteurs YY', YY'', YY''' et YY'' respectivement égales aux hauteurs, par rapport à la droite LM, des points où les arètes de la panne rencontrent la face extérieure du mur de pignon FG,

les hauteurs ZZ', ZZ'', ZZ''' et ZZ^{iv} respectivement égales aux hauteurs, par rapport à la droite PQ, des points où les arètes de la panne rencontrent la face extérieure du mur du pignon EH ; par les points correspondans Y' et Z', Y'' et Z'', etc., on menera les droites Y'Z', Y''Z'', Y'''Z''', Y^{iv}Z^{iv}, lesquelles seront les rabattemens des arètes de notre panne. Cela fait, par les points où les projections horizontales des arètes de cette panne rencontrent celles des faces latérales des arbalêtriers, on élevera des perpendiculaires à la droite YZ, qui iront rencontrer les rabattemens correspondans des arètes de la même panne en des points par lesquels on menera des droites qui formeront des parallélogrammes (ainsi qu'on le voit dans le rabattement de la panne, par les lignes ponctuées) qui seront les projections verticales des intersections de notre panne avec les faces latérales de nos arbalêtriers.

Maintenant, menons la perpendiculaire 4 — 1 au rabattement, et celle 5 — 7 à la projection horizontale de la panne, quelque part qu'on voudra; faisons ensuite les hauteurs 7 — 8, 6 — 9 et 5 — 10 respectivement égales à 1 — 2, 1 — 4 et 1 — 3; joignons les points 6, 8, 9 et 10 par les droites 6 — 8, 8 — 9, 9 — 10 et 10 — 6, et le parallélogramme 6 — 8 — 9 — 10 sera la section droite de notre panne. On trouverait le rabattement et la section droite des autres pannes de la même manière.

Pour distribuer convenablement les chevrons de la pente dont la trace horizontale est la droite EF, on divisera cette droite EF et la projection horizontale KI de l'arète supérieure du milieu du faîtage, chacune en autant de parties égales qu'on voudra mettre de chevrons dans cette pente, et, en joignant les points correspondans de division par des droites, on aura les axes de ces chevrons. On se conduira de même pour ceux de l'autre pente, en observant que le nombre des chevrons de cette pente n'a pas besoin d'être le même que celui des chevrons de l'autre. Comme ces chevrons ne sont ni parallèles ni de même longueur, il faudra obtenir le rabattement de chacun d'eux, par le procédé du n°. 70.

L'épure étant disposée comme il vient d'être dit, il est clair qu'on pourra facilement tracer chacune des pièces de bois de notre comble, puisqu'on aura les véritables longueurs et les sections droites de chacune d'elles. Nous n'avons pas donné les sections droites des arbalêtriers, parce que la manière de les obtenir a déjà été expliquée plusieurs fois; en les déterminant, on observera qu'il en faudra une pour chaque arbalêtrier de chaque ferme.

81. EXEMPLE 2. Supposons qu'il soit encore question d'un comble à deux pentes sur un quadrilatère irrégulier ABCD (fig. 156), mais qu'ici on veuille que l'arète du milieu de la face supérieure du faîtage soit de niveau;

dans ce cas, les deux pentes du comble seront gauches. Cela posé, supposons que les droites EH, FG soient les traces horizontales des pentes du comble, ces traces étant situées sur le plan horizontal mené par les faces supérieures des tirans des fermes; divisons en deux parties égales les droites EF, HG aux points I et K, et menons la droite IK, qui sera la projection horizontale de l'arète du milieu de la face supérieure du faîtage; menons les droites LM, OP respectivement parallèles aux droites HG, EF; par les points H, K, G, et E, I, F, élevons les droites HL, KN, GM, et EO, IQ, FP respectivement perpendiculaires aux droites HG, EF; déterminons le point N comme il nous conviendra, et faisons la hauteur RQ égale à SN; ensuite, menons les droites LN, MN, OQ et QP, qui seront les intersections des pentes du comble avec les faces extérieures HG, EF des murs de pignon. Cela posé, concevons ces droites LN, MN, OQ et QP situées chacune à sa place dans l'espace, et qu'ensuite la droite FG glisse en même temps sur les droites MN et PQ de manière que cette droite FG arrive aussitôt du point M au point N, que du point P au point Q; cette droite FG engendrera la surface gauche qui conviendra le mieux à cette face du comble. L'autre face sera engendrée de la même manière par la droite EH glissant à la fois sur les droites LN, OQ.

On pourrait engendrer les mêmes surfaces gauches, en faisant glisser une ligne droite sur l'arète supérieure du faîtage et l'une des traces horizontales FG ou EH de ces surfaces, de manière que la génératrice divisât toujours ces deux directrices proportionnellement, condition qui est la même que celle qui consiste à faire partir la génératrice des extrémités correspondantes de ses directrices, et la faire arriver aux autres extrémités en même temps.

En conséquence de cette génération des faces du comble, toute droite qui divisera proportionnellement les bords ou arètes opposées de ces faces, sera toute entière dans la surface gauche; ainsi, en dirigeant les pannes et les fermes d'après cette condition, comme les largeurs de ces pièces de bois sont peu considérables, on pourra en faire les arètes en lignes droites, sans erreur sensible.

D'après toutes les conditions qui précèdent, voici comment il faudra faire l'épure de notre comble.

On commencera par diviser chacune des droites LN, NM, OQ, QP en autant de parties égales qu'on voudra avoir de pannes dans chaque pente; par les points de division *e*, *h*, *i* et *l*, on abaissera les perpendiculaires *ef*, *hg*, *ik*, *lm*, respectivement aux droites HG, EF; par les pieds de ces perpendiculaires on menera les droites *fk*, *gm*, qui seront les projections horizon-

tales des axes des pannes, lesquels axes sont rigoureusement situés sur les faces gauches du comble. Cela fait, comme il serait trop long dans la pratique de faire gauches les faces supérieures des pannes, nous les ferons planes; mais pour rendre l'erreur moins sensible, nous la partagerons de manière qu'il y en ait autant de chaque bout, et pour cela, nous diviserons en deux parties égales par la droite TU, les droites EH, FG, sur laquelle nous supposerons élevé un plan vertical qui rencontrera les faces du comble suivant les droites TV, UV (rabattues autour de la droite TU), de manière que la hauteur V'V sera égale à SN ou RQ; par les points *c*, *d* où les projections horizontales des axes des pannes rencontrent la droite TU, on élevera, à cette dernière, les perpendiculaires *ca*, *db*, lesquelles rencontreront les droites TV, UV aux points *a* et *b*, qui seront les milieux des dessus des pannes. On construira sur les droites TV, UV les rectangles *a*, *b*, de manière que les points *a*, *b* soient les milieux des côtés situés sur ces droites TV, UV; et ensuite, par les sommets des rectangles qui sont les sections faites dans les pannes, par le plan vertical élevé sur la droite TU, on abaissera des perpendiculaires à cette dernière, par les pieds desquelles on menera des parallèles aux projections horizontales *kf*, *gm* des axes des pannes, et ces parallèles seront les projections horizontales des arètes de ces dernières. Puis, on menera les droites ZX, ZY parallèles à TV, UV, qui passeront par les faces inférieures des pannes; par les points X et Y on menera les droites E'H', F'G' respectivement parallèles aux droites EH, FG, qui seront les traces horizontales de deux nouvelles surfaces gauches parallèles aux premières, sur lesquelles seront les faces inférieures des pannes. Cela posé, si l'on veut avoir les intersections de ces dernières avec les faces extérieures des murs de pignon, on s'y prendra comme dans l'exemple qui précède, ainsi qu'on le voit dans l'épure.

Quant aux fermes, on les disposera comme dans l'exemple précédent, ainsi que les projections horizontales A'B', C'D' l'indiquent dans l'épure. On aura ensuite les rabattemens ou profils de ces fermes par le même moyen que nous avons expliqué au n°. 175, avec cette différence qu'ici les hauteurs des sommets de ces fermes, par rapport au dessus des tirans, sont égales à SN, sur chaque face, ce qui fait que les rabattemens des arètes supérieures des arbalêtriers ne sont pas parallèles, ainsi que cela doit être, puisque ces dessus sont gauches. Si l'on veut avoir égard à ce gauche, on fera deux sections droites pour chaque arbalêtrier, une de chaque bout.

Les pannes n'ont pas besoin ici d'être rabattues, par la raison qu'elles sont de niveau, et que, par conséquent, leurs véritables longueurs se trouvent en projection horizontale. Quant à leurs sections droites, on les aura ainsi que nous allons l'expliquer pour l'une d'elles.

On mènera la droite *tv* perpendiculaire à la projection horizontale de la panne; par le point *o* on mènera la droite *op* parallèle à TU, on fera ensuite les longueurs *ox*, *uy* et *tz* respectivement égales à *pq*, *or* et *ts*; on joindra les points *u*, *x*, *y* et *z* par les droites *ux*, *xy*, *yz* et *zu*, et le parallélogramme *uxyz* sera la section droite demandée.

Quant aux chevrons, on les disposera comme dans l'exemple précédent, et on aura le rabattement de la même manière.

82. EXEMPLE 3. Supposons toujours un bâtiment de même forme que dans les deux premiers exemples; sans faire gauches les faces du comble, on peut mettre de niveau l'arête du milieu de la face supérieure du faîtage, en disposant les choses comme il suit:

On déterminera la projection verticale EGF (fig. 157) des intersections, des faces d'un comble à deux pentes planes, avec la face extérieure AB du plus petit mur de pignon; par le point H (projection horizontale du sommet G de ce pignon), qui doit être le milieu de la longueur AB du mur, on menera les droites HI, HK respectivement parallèles aux traces horizontales des faces des murs AC, BD, qui reçoivent les égouts, et ces droites HI, HK seront les projections horizontales des arètes des milieux des faces supérieures de deux faîtages qui se joindront vers H, de manière qu'ils comprendront entre eux un espace triangulaire IHK qui sera un plan horizontal réunissant les deux pentes du comble. Ces pentes seront planes, l'arète de l'égout et celle du faîtage étant parallèles dans chacune d'elles. Les droites AC, BD respectivement parallèles aux traces horizontales des faces des murs AC, BD sont les projections horizontales des intersections de ces pentes avec le plan horizontal qui passe par les faces supérieures des tirans.

On déterminera la projection verticale LNOM de l'intersection des pentes et de la face horizontale du comble avec la face extérieure du mur CD, comme il est indiqué par les droites ponctuées, en ayant l'attention de faire les hauteurs QN, PO chacune égales à VG. On déterminera aussi les projections verticales N, O et G des faîtages dont les projections horizontales sont HI, HK; et ensuite on divisera les droites LN, OM, EG et GF chacune en autant de parties égales qu'on devra mettre de pannes dans chaque pente, et les points de division seront les milieux des dessus des pannes. Par ces points de division, on abaissera les droites *ae*, *bf*, *cg* et *dh*, respectivement perpendiculaires aux droites CD, AB; on joindra les points *e* et *h*, *f* et *g* par les droites *eh*, *fg*, qui seront les projections horizontales des axes des pannes. Ensuite, comme la droite *eh* est presque perpendiculaire à CD, on fera rectangulaire le profil *a* de la panne, et comme la

droite *fg* est presque perpendiculaire à AB, on fera rectangulaire le profil *c* de cette seconde panne. De cette manière on voit que les sections droites de nos pannes seront à très-peu de chose près rectangulaires. Après cela on obtiendra les projections horizontales des arètes de ces pannes, en abaissant par les sommets des rectangles *a* et *c* des perpendiculaires aux droites CD, AB, et en menant par les pieds des ces perpendiculaires des parallèles aux droites *eh*, *fg*. Du reste, on conçoit comment on aura la projection verticale *d* de l'intersection de la panne *ch* avec la face extérieure du mur AB, et celle *b* de l'autre panne *fg* avec la face extérieure du mur CD. Cela fait, on disposera les fermes RS, TU en projection horizontale, comme dans les deux premiers exemples, et on obtiendra les profils ou rabattemens *iklm*, *nopq* de ces fermes, ainsi que l'épure l'indique suffisamment, en se rappelant les explications précédentes. On voit que ces fermes se composent chacune de deux arbalêtriers assemblés dans des poinçons entretenus par des pièces horizontales qui servent en même temps de poutres à la partie horizontale du comble dont la projection horizontale est le triangle HIK. Dans le milieu de la longueur de ces poutres horizontales, on assemblera à tenons et mortaises une forte solive dont la projection horizontale est *rs*, qui soutiendra le milieu des chevrons de la partie, en forme de terrasse. Chacun des deux poinçons de chaque ferme est au-dessous du faîtage auquel il correspond, et les pannes ainsi que les faîtages sont assemblés à entailles à demi-épaisseur ou à tenons et mortaises dans les arbalêtriers, pour plus de simplicité; mais on pourrait sans peine faire l'épure dans le cas où les pannes et les faîtages viendraient poser sur les arbalêtriers.

Ici, comme dans l'exemple précédent, les pannes sont de niveau, ce qui dispense d'en avoir les rabattemens, de sorte que l'épure sera terminée lorsqu'on aura obtenu les sections droites de toutes les pièces de bois, qu'on tracera ensuite par la méthode déjà rappelée plusieurs fois.

83. EXEMPLE 4. En disposant les choses comme dans l'exemple précédent, au lieu de laisser plane et horizontale la partie triangulaire EFG comprise entre les faîtages EG, EF (fig. 158), on pourrait la disposer à deux pentes planes venant l'une à la rencontre de l'autre, pour former une rigole. Ces deux pentes passeraient par les arètes supérieures des faîtages EG, EF, qui sont de niveau, et s'intercepteraient suivant une droite dont la projection horizontale est EH. Cette disposition exigera des fermes doubles, sur les mêmes tirans, ainsi que le rabattement TUVXY de l'une RS de ces fermes l'indique. Les arbalêtriers UV, XV qui soutiennent la rigole sont entaillés à demi-épaisseur à l'endroit V où ils se

croisent, et sont assemblés dans le bas des poinçons UU′, XX′. Cependant, si l'on faisait une ferme plus près du mur AB, il serait possible qu'il fallût assembler les pieds de ces arbalêtriers sur la face supérieure du tirant. Pour tracer les profils de ces fermes doubles, on commencera par déterminer le pignon OPQ du côté du petit mur CD, sur la face extérieure de ce mur; ensuite, par le milieu E de CD, on menera les droites EG, EF respectivement parallèles aux traces CA, DB des murs qui portent les égouts; par les points G et F, on élevera les perpendiculaires GK, FM à la droite AB ainsi que celles AI, BN par les points A, B; on menera la droite IN parallèle à AB; on fera les hauteurs G′K, F′M chacune égale à E′P, et on menera les droites IK, MB. Puis on fera G′*b* égale à G′I, et F′*a* égale à F″N, et on menera les droites K*b*, M*a*: le contour IKLMN sera le profil du comble sur la face extérieure du mur AB. Cela fait, par les points *a*, *b* et L, on abaissera les perpendiculaires *ac*, LH, *bd* à la droite AB; par le point H et le point E on menera la droite HE, qui sera la projection horizontale de l'intersection des pentes qui forment la rigole; par les points *c* et *d* on menera les droites *cf*, *de*, respectivement parallèles aux traces horizontales BD, AC des murs d'égout, qui seront les traces horizontales des pentes qui forment la rigole. Maintenant, les perpendiculaires ponctuées menées à la droite RS, indiquent assez comment il faut opérer pour avoir le rabattement TUVXY de la ferme RS, et par conséquent de toute autre ferme. On observera que les hauteurs U′U, X′X sont chacune égale à E′P. On voit en Y le profil de la noue dont la projection horizontale est EH. Du reste on conçoit comment les chevrons seraient disposés sur les pannes, les faîtages et la noue, ainsi que la manière de tracer les morceaux de bois du comble. On voit que nous n'avons indiqué qu'une seule ferme RS sur les milieux de la longueur des murs AC, BD, pour ne pas embrouiller l'épure, mais qu'en général il en faudra plusieurs, qu'on disposera comme nous l'avons indiqué dans les exemples précédens.

Nous pourrions multiplier davantage les exemples de dispositions de combles, mais nous croyons que ceux qui précèdent suffiront pour faire saisir l'esprit de ce genre de constructions.

7me. LEÇON.

Des Lucarnes.

Une lucarne n'est autre chose qu'une fenêtre couverte d'un petit comble, le plus souvent à deux pentes, qui va rencontrer celui du bâtiment. Il suit de cette définition, qu'ayant donné, dans les leçons précédentes, les épures pour toutes les pénétrations des combles plans, nous devrions regarder les épures des lucarnes comme inutiles à expliquer maintenant; mais pour indiquer ce qu'il y a de particulier à observer dans ce genre d'ouvrages, nous allons en donner un exemple.

84. Soit AB (fig. 159) le mur de face d'un bâtiment sur lequel on veut établir la lucarne; soient BC, AD les projections horizontales de deux fermes du comble de ce bâtiment, entre lesquelles doit se trouver la lucarne; EF la projection verticale du tirant de l'une de ces fermes, GH celle d'un arbalêtrier, et I, K celles des pannes. Soit, d'ailleurs, *abcdefg* l'élévation de face de la lucarne, *ab* étant la pièce d'appui posée au niveau du dessus de la corniche. Soient encore LM la projection horizontale de la pièce d'appui, et L, M celle des poteaux d'huisserie de la lucarne. Cela posé, on décrira la projection verticale *hmn* de cette lucarne, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure. On observera dans cette projection verticale que les pièces de bois marquées *o* sont des poteaux formant pan de bois pour fermer le vide triangulaire *hli*, lesquels poteaux sont assemblés à tenons, par le bas, sur deux pièces de bois comprises dans l'épaisseur des pannes du grand comble, dont la projection verticale est *m'n'*, et les projections horizontales sont LO, MN. Ces pièces comprises dans l'épaisseur des pannes du grand comble s'appuieront par le bas sur le mur, derrière les poteaux d'huisserie de la lucarne, et par le haut elles s'assembleront à tenons dans la face latérale correspondante de la panne dont la projection verticale est K, et la projection horizontale DC. Comme la panne, dont la projection verticale est I, et la projection horizontale PQ, traverserait l'ouverture de la lucarne, il faudra la couper de manière à laisser cette ouverture libre, ce qui obligera d'assembler les bouts de cette panne dans les pièces dont il vient d'être question, et dont les projections horizontales sont LO, MN. On conçoit que pour ne pas trop charger les pièces LO, MN, il faudra que chaque morceau QR, SP de la panne PQ porte sur deux fermes du grand comble, pour que la roideur du bois

soutienne les bouts en saillie QR, PS de cette panne. Tout ce qui précède étant disposé, on placera deux pièces de bois TU, VX pour former les noues aux intersections du comble de la lucarne avec le grand. Ces deux noues ou *noulets* s'assembleront par le bas à tenons contre les faces latérales, intérieures des pièces LO, MN, et par le haut contre la face latérale correspondante de la panne CD. Ces noulets seront entaillés à demi-épaisseur à l'endroit où ils se croisent. Ils seront compris dans l'épaisseur des pannes du grand comble ; leur forme est assez difficile à comprendre ; nous allons tâcher de l'expliquer.

D'abord, déterminons les projections horizontales des intersections des faces supérieures des deux combles, et pour cela, 1°. par le point n, où la projection verticale mn de l'arête d'intersection des faces supérieures des chevrons de la lucarne va rencontrer celle pn des faces supérieures des chevrons du grand comble, abaissons la verticale nZ, qui rencontrera la projection horizontale YZ de l'arête supérieure du faîtage de la lucarne au point Z, qui appartiendra aux projections demandées ; 2°. par le point p, où la projection verticale sp de l'intersection, avec les faces supérieures des chevrons de la lucarne, de la face extérieure de la pièce horizontale il va rencontrer le dessus pn des chevrons du grand comble, on abaissera la verticale pp'', qui rencontrera les projections horizontales des faces extérieures des pièces LO, MN, aux points p'' et p', par lesquels et le point Z on menera les droites Zp'', Zp', qui seront les projections demandées. Ces droites seront les milieux des largeurs des projections horizontales des noulets. Ayant fixé ces largeurs en projection horizontale, par les points r', V, q', z' et v', on élevera les verticales $r'p$, Vt, $q'q''$, $z'z$, Zy et $v'x$, après quoi il sera facile d'avoir les projections verticales $rqq''q'''tp$, $t'uvxyz$, qui sont respectivement celles de la rencontre d'un noulet avec la face latérale de la pièce MN, et de la section faite dans la rencontre des deux noulets par un plan vertical élevé sur la droite YZ.

Déterminons, maintenant, la projection verticale de l'un VX de ces noulets, dans un plan vertical dont la ligne de terre r^2d^2 soit parallèle à la projection horizontale $r'z'$ de l'une des faces latérales de ce même noulet. Pour cela, par les points r', V, q', v', z', Z, a', c', X et d' de la projection horizontale, on élevera, à la droite $r'd'$ ou à sa parallèle r^2d^2, les perpendiculaires indéfinies $r'r^3$, VV^2, $q'q^4$, $z'z^4$, Zb^3 ; $a'a^4$, $v'v^3$, $c'XX^3$ et $d'd^3$; on fera ensuite la hauteur z^2, z^3 égale à $t''t'$ (de la grande projection verticale), et par les points r^2z^3, on menera la droite r^2z^3 qui sera la projection verticale de l'arête dont r', z' est la projection horizontale ; on menera la droite z^3b^2 parallèle à r^2d^2 ; par le point b^2 (appartenant à la droite Zb^2) et le point V', on menera la droite $V'b^2$, qui

sera parallèle à r^2z^3, et sera la projection verticale d'une arète d'intersection qui se trouve au milieu de la face inférieure du noulet, et dans le même plan vertical que l'intersection des faces supérieures des chevrons des deux combles. On fera les hauteurs q^2q^3, $X'X^2$, d^2d^3 respectivement égales à $q^{iv}q''$, $r''n$, $r''n$; on joindra les points q^3, X^2 par la droite q^3X^2, à laquelle, et par le point d^3 on menera la parallèle d^3a^3; on menera la droite a^3z^3, et celle X^2d^3 qui sera parallèle à la ligne de terre r^2d^2, et la projection verticale demandée sera obtenue pour la face du dessous du noulet. Quant à celle de la face du dessus, on l'obtiendra en opérant d'une manière semblable.

Pour tracer et tailler ce noulet, on commencera par l'équarrir à base rectangulaire, d'une largeur égale à celle de sa projection horizontale, d'une épaisseur égale à g^2h^2, et d'une longueur égale à d^3r^2. Cela fait, on prendra, sur la droite g^2h^2 (qui est d'équerre à la pente du noulet), les distances des diverses arètes du noulet, par rapport à o^3q^4, que l'on portera convenablement sur les faces latérales du morceau de bois, de manière à correspondre à la droite g^2h^2; par rapport à cette dernière droite on prendra les distances des principaux points (au moins au nombre de trois) des joints par tête du noulet, pour les transporter convenablement sur le morceau de bois, afin de pouvoir tailler ces joints, en observant les tenons, sur lesquels ensuite on tracera les profils $X^3o^3X^2d^3$, $r^2r^3V^2q^4q^3V'$, pour pouvoir tailler avec plus de précision les faces de dessus et de dessous du noulet. J'engage le lecteur à faire un modèle en petit de ce noulet, d'après l'explication que je viens d'en donner, pour se bien pénétrer de la forme qu'il doit avoir, ce qui ne peut être présenté convenablement dans une figure en perspective, où des choses nécessaires à l'intelligence sont cachées ou confondues les unes dans les autres.

Le lecteur fera également bien de s'exercer à faire de lui-même une ou deux épures de lucarne dans d'autres cas que celui que nous avons supposé dans l'exemple que nous venons d'expliquer. Il pourrait, par exemple, supposer que la lucarne rencontre le comble du bâtiment obliquement.

Ayant expliqué ce que ce genre de construction offre de plus difficile, nous terminerons là ce sujet, et nous passerons à un nouveau genre de comble.

8me. LEÇON.

Des Combles plans à plusieurs pentes, construits sans ferme et avec des morceaux de bois dont la longueur peut n'être que d'un mètre dans certain cas.

Dans les systêmes de combles que nous avons expliqués dans les précédentes leçons, on a vu qu'il fallait de grandes poutres pour la construction des fermes ; or les grandes pièces de bois sont rares, et par conséquent d'un prix élevé en France; il est donc important de savoir faire des combles, même très-étendus, avec des morceaux de bois de peu de longueur, de un à deux ou trois mètres au plus, et un pareil systême sera d'autant plus avantageux que, les pièces de bois devenant plus fortes à mesure qu'elles sont plus courtes, il leur faudra un plus petit équarrissage pour donner la même force à la charpente du comble, qui d'ailleurs n'en sera que plus légère. Ce systême, que je propose, n'est autre chose que celui que Serlio a imaginé pour les planchers, et que nous avons expliqué au n°. 34 et suivans. Personne, que je sache, n'a eu l'idée d'appliquer cet excellent systême aux combles. Cependant, s'il est solide dans les planchers, à plus forte raison doit-il l'être dans les combles pyramidaux, et même dans ceux à deux pentes, en empêchant leurs pieds de s'écarter. Il ne faut pas le confondre avec celui de Philibert Delorme, que nous ferons connaître, qui, tout excellent qu'il est, n'atteint pourtant pas à la bonté du premier, ainsi qu'on en pourra juger par la suite.

Entrons en matière.

85. Supposons qu'il s'agisse de faire un comble à deux pentes, pour un bâtiment rectangulaire ABCD (fig. 160); soit EGF la section droite de ce comble, les droites EG, FG étant les projections verticales des faces supérieures des deux pentes. Cela posé, parallèlement aux droites EG, FG, et à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner aux pièces de bois du comble, on menera les droites *ab*, *bc*, qui seront les projections verticales des faces en dessous de ce comble. Ensuite, par les points *a* et *c* où les droites *ab*, *bc* rencontrent les projections verticales des faces intérieures des murs, on menera les droites *ag*, *ck* respectivement perpendiculaires aux droites *ab*, *bc*; on menera l'horizontale *fi* à une distance, en contre-bas des points *a* et *c*, d'environ 4 à 6 centimètres ; on fera les distances *ef*, *hi* d'environ 25 à 30 centimètres; par les points *f* et *i* on élevera les verticales *f*E, *i*F, et les figures

autres, à trait de Jupiter ou autrement, de manière à ne former qu'un seul morceau. Les assemblages des pièces courantes les unes sur le milieu des autres se feront à entaille à demi-épaisseur, soit carrée, soit à queue d'aronde, tout comme pour les planchers à la Serlio, et on pourra aussi réunir les joints par de petites plates-bandes de fer entaillées de leur épaisseur en dessous, pour une plus grande solidité. C'est surtout les assemblages dans le faîtage qui auront besoin d'être retenus par les plates-bandes en fer, comme on le voit indiqué en projection horizontale, en les entaillant de leur épaisseur, soit en dessus, soit en dessous. On conçoit que ces dernières plates-bandes en fer seront coudées suivant les pentes du toit.

Pour aider l'intelligence du lecteur, nous avons représenté en perspective 1°. la forme du faîtage (fig. *a*) avec les mortaises qui doivent recevoir les tenons des bouts supérieurs des morceaux, disposés suivant la pente, qui viennent s'assembler dans ce faîtage; 2°. celle d'un de ces morceaux (fig *b*), où l'on voit la forme *a* du tenon qui entre dans le faitage, celle *b* de la patte à queue d'aronde qui doit s'appuyer dans l'entaille pratiquée au milieu du morceau qui doit le soutenir par ce bout *b*, et celle *c* d'une entaille à double queue d'aronde, qui doit recevoir les pattes des pièces que celle-ci doit soutenir; 3°. la forme d'une partie (fig. *c*) de la longueur d'une des sablières qui reçoivent les pieds inférieurs des morceaux du bas posés suivant la pente, où l'on voit la forme des mortaises dans lesquelles viennent s'assembler les tenons des bouts inférieurs de ces morceaux mêmes; 4°. enfin, la forme (fig. *d*) de l'un de ces morceaux, où nous avons indiqué la patte *a*, sans queue d'aronde, l'entaille carrée *b* à demi-épaisseur dans le milieu de sa longueur, et le tenon *c* qui doit entrer dans la sablière.

A cause de leur grande simplicité, je pense qu'il est inutile d'expliquer la manière de tracer ces morceaux de bois.

Les pièces de bois qui conviennent à ce système de comble sont des madriers ou des membrures posées de champ, de 5 à 8 centimètres d'épaisseur, sur 16 à 20, 25 ou 30 centimètres de largeur, suivant la longueur qu'on voudra leur donner en place, qui sera au moins d'un mètre, et au plus de 3. Quoique ces bois, étant étroits par dessus, semblent ne pas donner assez de portée aux pattes des bouts qui viennent poser sur les milieux des pièces, les assemblages auront pourtant toute la solidité désirable, étant retenus par les plates-bandes en fer dont nous avons parlé ci-dessus : ces plates-bandes n'ont pas besoin d'être très-fortes, il suffit qu'elles aient 30 à 35 centimètres de long, 2 ou 3 de large, et 2 ou 3 millimètres d'épaisseur; pourvu, d'ailleurs, qu'elles soient bien saines et arrêtées avec de bonnes vis de

87. Si ce système est solide dans les combles à deux pentes, à plus forte raison doit-il l'être pour ceux en forme de pyramide ; et comme la disposition des pièces de bois est toujours la même à quelques légères modifications près relatives aux intersections des faces du comble, il nous suffira de mettre quelques épures de combles de ce genre sous les yeux du lecteur, pour lui en donner une intelligence complète. Ainsi, par exemple, s'il s'agissait d'un bâtiment rectangulaire, et que le comble dût être à quatre pentes, la figure 161 étant la coupe du comble, prise perpendiculairement à la direction des longs murs, la figure 162 indiquerait en projection horizontale la disposition des pièces de bois vers l'une AB des pièces de croupe, qui doivent être d'une seule longueur ou en plusieurs morceaux au bout l'un de l'autre et assemblés à trait de Jupiter. On voit que nous avons fait le rabattement ACDB en lignes ponctuées de cette pièce de croupe, pour pouvoir tracer sur ces faces latérales les mortaises dans lesquelles les autres morceaux du comble doivent s'assembler au sommet dont la projection horizontale est le point B ; on mettra une espèce de clef ou de sabot dans laquelle les pièces de croupe et le faîtage BE viendront s'assembler à tenon. Dans la figure 163 on voit la disposition pour le cas où le comble aurait la forme d'une pyramide droite à base carrée. Dans ce dernier cas, le sabot ou patin placé au sommet B de la pyramide, aurait la forme représentée par la figure, *a* et les pièces de croupe seraient les mêmes que dans le premier cas. La figure *b* est un bout de la plate-forme vers l'un des angles du bâtiment, avec lequel le morceau en retour doit s'assembler à entaille. *a*, dans cette pièce, indique une mortaise dans laquelle le tenon de l'un des morceaux de bois disposés suivant la pente du toit vient s'assembler ; *bc* est l'intersection des faces inclinées, de cette plate-forme, qui reçoivent la charpente. Dans cette intersection on pratiquera une mortaise, qui n'est pas indiquée, pour recevoir le tenon du pied d'une pièce de croupe. La figure *e* est une de ces pièces de croupe que l'on doit d'abord équarrir sur une base dont la forme *abcdef* (fig. *e*) est celle de la section droite qu'on obtiendra comme celle d'une doublure d'arbalétrier de croupe des combles ordinaires, après avoir mené la droite *ab* (fig. 162) perpendiculaire à CD. Pour tracer les bouts de ces pièces de croupe, ainsi que les intersections *hikg*, *lmno*, *pqrs* et *tuvx* (fig. *e*) de leurs faces latérales avec les morceaux de remplissage disposés tant horizontalement que suivant la pente du comble, après avoir tracé convenablement la section droite $a'b'c'd'e'f'$, on se conduira d'une manière analogue à celle expliquée au n°. 60 et suivans.

La figure *c* est la forme d'un morceau disposé suivant la pente, de celui dont la projection horizontale est *ab* (fig. 163) ; pour trouver ce morceau,

par les points *a*, *c* (fig. 163), on élevera les perpendiculaires *ag*, *cf*, à la ligne de terre AB (fig. 161), et le parallélogramme *efgh* sera la projection verticale de l'intersection du bout supérieur du morceau en question avec la face latérale de la pièce de croupe qui y correspond. Cela fait, on équarrira un morceau de bois à la grosseur convenue; on tracera le joint *efgh* (fig. *c*), qui doit venir contre la plate-forme, d'équerre à la longueur du morceau; puis on fera les longueurs *ea*, *fb*, *gc* et *hd*, respectivement égales à *kg*, *kf*, *ie* et *ih* (fig. 161); on joindra les points *a*, *b*, *c* et *d* (fig. *c*) par les droites *ab*, *bc*, *cd* et *da*, et le joint qui vient contre la face latérale de la pièce de croupe correspondante sera tracé. Pour tracer l'entaille *pqnmokil*, qui doit être pratiquée en dessous de ce morceau, on fera les longueurs *gp* et *gk* respectivement égales à *io*, *in* (fig. 161), et d'équerre aux arètes *gc*, *hd* (fig. *c*), et par les points *p* et *k* on menera les droites *pl*, *ki*, *pq*, *ko*, *qn*, *om*, et parallèlement aux mêmes arètes *gc*, *hd*, on menera les droites *li*, *nm* à des distances égales à la moitié de l'épaisseur *he* de la pièce, et tout sera tracé, excepté les tenons, qui n'offrent plus de difficulté.

Quant à la figure *d*, elle représente l'un des morceaux de niveau qui vont s'assembler contre une face latérale des pièces de croupe, et c'est celle dont la projection horizontale est *hemi* (fig. 163). Pour tracer ce morceau, après l'avoir équarri comme à l'ordinaire, et avoir fait le joint *abcd* (fig. *d*) d'équerre à l'arète *ae*, on fera les longueurs *bf*, *ae*, *cg* et *dh*, respectivement égales à *em*, *fl*, *gk* et *hi* (fig. 163); on joindra les points *f*, *e*, *h* et *g* (fig. *d*) par les droites *fe*, *eh*, *hg* et *gf*, et le joint en question sera tracé; quant au tenon et aux entailles, elles n'offrent point de difficulté.

Il serait superflu d'expliquer les figures 164 et 165; car la seule inspection de ces figures est plus que suffisante pour faire comprendre la disposition de ces deux exemples. Nous pourrions appliquer ce système de charpente à tous les cas que nous avons examinés dans les leçons précédentes, mais nous laisserons au lecteur le plaisir de faire lui-même ces applications, afin d'abréger un peu; seulement, nous allons expliquer l'épure de l'application de ce système à un comble pyramidal à base irrégulière.

88. Soit A'B'C'D' (fig. 166) le plan d'un bâtiment quadrangulaire irrégulier: on divisera chaque côté du quadrilatère A'B'C'D' en deux parties égales aux points E, F, G et H, que l'on joindra deux à deux par les droites EG, HF, et le point I, où ces deux droites se rencontreront, sera la projection du sommet du comble pyramidal. Par le point I on abaissera les droites IK, IL, IM et IN respectivement perpendiculaires aux côtés B'C', C'D', D'A' et A'B'; par le même point I on menera les droites IP, IQ, IR et IS respectivement pa-

rallèles aux côtés B′C′, C′D′, D′A′ et A′B′; on fera chacune de ces droites IP, IQ, IR et IS égale à la hauteur qu'on voudra donner au sommet du comble, et on menera les droites PK, QL, RM et SN, qui seront les intersections, avec les faces supérieures du comble, des plans verticaux élevés sur les droites IK, IL, IM et IN, et par conséquent les angles IKP, ILQ, IMR et INS, seront les véritables inclinaisons des pentes du comble, par rapport au plan horizontal qui passe par les naissances des quatre pentes. Parallèlement aux droites KP, LQ, MR et NS, et à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner au comble, on menera les droites *ab*, *cd*, *ef* et *gh*, et si la droite IN est la plus longue des perpendiculaires abaissées du point I sur les côtés du quadrilatère A′B′C′D′, par le point *g*, où la droite *hg* rencontre la droite IN, on menera *gl* d'équerre à NS; par le point *l* on menera la droite AB parallèle à A′B′; par les points A et B où cette droite AB rencontre les diagonales IA, IB, on menera les droites AD, BC, parallèles aux droites A′D′, B′C′, et par les points D et C où ces dernières droites rencontreront les diagonales ID, IC, on menera la droite DC, qui sera parallèle à D′C′: le quadrilatère ABCD sera la projection horizontale de la section faite dans les quatre faces supérieures du comble, par un plan horizontal mené à la hauteur du point *l*, et ces droites d'intersection seront les arètes supérieures des plates-formes sur lesquelles ce comble sera établi. En conséquence, par les points *k*, *m*, *n* où les droites BC, CD, DA rencontrent respectivement les droites KP, LQ, MR, on menera, à ces dernières, les perpendiculaires *ki*, *mc*, *no*, qui seront les intersections des plans verticaux élevés sur les droites IK, IL, IM et IN, avec les faces inclinées des plates-formes, sur lesquelles le comble vient bouter. Cela fait, à partir des points *k*, *m*, *n* et *l*, on distribuera de la même manière sur les droites KP, LQ, MR et NS les rectangles *p*, *q*, *r*, *s*, *t*, *u*, *v*, *x*, *y*, *z*, *z′*, *z″*, qui seront les sections droites des pièces de bois disposées horizontalement dans le sens de leurs longueurs. En distribuant ces rectangles, on aura égard à la largeur du patin I, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure. Cela fait, on déterminera les projections horizontales de ces pièces de bois disposées de niveau dans le comble, et ensuite on distribuera sur chacun des côtés du quadrilatère ABCD un nombre impair de pièces de bois dont les projections horizontales seront, pour les pentes opposées, respectivement parallèles aux droites HF, EG qui divisent en deux également les côtés opposés du quadrilatère A′B′C′D′, ainsi qu'on le voit dans l'épure. On tracera aussi les projections horizontales IA, IB, IC et ID des pièces de croupe; on obtiendra le rabattement de chacune de ces pièces de croupe, comme on le voit dans l'épure pour celle dont IB est la projection horizontale; enfin, on

déterminera le rabattement de l'une des pièces disposées suivant la pente, qui sont les plus longues dans chaque pente, ce que nous avons fait pour les deux pièces dont les projections horizontales sont YZ et TU, comme on le voit dans l'épure. Quand tous ces rabattemens seront obtenus, et qu'on aura disposé les joints alternatifs des pièces de bois en projection horizontale, on aura tout ce qu'il faut pour tracer les morceaux, ce qu'on fera comme il a été expliqué précédemment.

9me. LEÇON.

Des Combles coniques.

C'est surtout dans la construction des combles coniques qu'il est avantageux d'employer le système que Serlio a donné pour les planchers, tant à cause de sa solidité, qu'à cause de sa grande simplicité et de sa régularité parfaite, tant en dessous qu'en dessus, ce qui peut, dans beaucoup de cas, dispenser de faire une voûte en dessous du comble, ce dernier pouvant en tenir lieu, et même d'une manière gracieuse. Ainsi, passons à des exemples.

89. EXEMPLE I. Si l'on suppose une salle à base circulaire, le comble conique sera droit, et comme les génératrices d'un cône droit sont toutes égales, il n'y aura aucune difficulté pour avoir les longueurs des pièces de bois droites qui aboutissent au sommet, où elles s'assemblent à tenon dans un patin qui forme ce sommet, ainsi que l'épure de la figure 167 l'indique. Il est inutile d'expliquer comment les pièces de bois de ce comble conique sont disposées, car on le voit très-clairement dans l'épure. Cependant, nous allons donner la manière d'avoir la projection verticale de l'une des pièces de bois dirigées suivant les génératrices du cône, ce qui pourrait embarrasser le lecteur.

Supposons que tout soit disposé comme dans la figure 167, tant en projection verticale qu'en projection horizontale, excepté les projections verticales que nous venons de promettre d'expliquer; cela posé, soit *efgd* la projection horizontale du morceau dont on veut avoir la projection verticale *hnoplk*; pour y parvenir avec facilité, par le milieu *b* de la largeur *ac* de ce morceau, on menera la droite *bi* perpendiculaire à AB; par le point *i* on menera la droite *im* au sommet *m* du cône intérieur, et cette droite *im* sera la projection verticale de la génératrice de ce cône intérieur, qui passe par le milieu de la face inférieure du morceau de bois. Ensuite, par les points *a*, *c*

et *d* on élevera les droites *ah*, *ck* et *dl* perpendiculaires à la ligne de terre AB; par les points *h*, *k* et *l* on menera les droites *hn*, *ko* et *lp* parallèles à *im*, lesquelles constitueront la projection verticale demandée. On obtiendra celle des autres morceaux semblables de la même manière.

A la rigueur, les arètes de ces morceaux de bois n'étant pas des génératrices du cône, au lieu d'être des lignes droites comme nous venons de le supposer, devraient être des arcs d'hyperboles; mais la largeur de ces pièces de bois est peu considérable, et les arètes latérales dont il s'agit sont parallèles aux génératrices correspondantes du cône, ce qui fait que ces arcs d'hyperboles sont trop près de la ligne droite, pour qu'il soit nécessaire d'avoir égard à ces courbes dans la pratique.

Il nous reste à donner le moyen de tracer les morceaux de bois de ce genre de combles. D'abord les morceaux disposés suivant les génératrices du cône, se traceront comme ceux disposés suivant la pente des combles plans de la leçon précédente. Quant à celles situées horizontalement, qui sont circulaires en projection horizontale, on les tracera de la manière suivante :

Supposons qu'il s'agisse de tracer le morceau dont la projection horizontale est *qq't't*; on fera un panneau en planche mince, dont la forme sera celle de la figure *qq't't*, au moyen duquel on équarrira un morceau de bois *abcdefgh* (fig. *a*), qui aura deux faces cylindriques, une *adef* concave, et l'autre *bchg* convexe, et dont l'épaisseur *ad* sera égale à CD. On observera que les arètes ou génératrices *ad*, *bc*, *gh* et *fe* des surfaces cylindriques de ce morceau de bois soient d'équerre aux faces planes et parallèles *abgf*, *dche*. Cela fait, on fera les hauteurs *ai*, *fp*, chacune égale à CE (fig. 167); les hauteurs *bl*, *go* (fig. *a*), chacune égale à CF (fig. 167); par les points *i* et *p*, *l* et *o* (fig. *a*), et avec une règle très-mince, pour qu'elle soit flexible, qu'on aura soin de bien appliquer dans les surfaces cylindriques du morceau de bois, on tracera, sur ces surfaces, les arcs de cercle *ip*, *lo*; on fera ensuite les distances *ak*, *fq*, chacune égale à *ts* (fig. 167), et les distances *dm*, *en* (fig. *a*), chacune égale à *tr* (fig. 166); par les points *k* et *q*, et avec une *cerce* ou espèce de règle courbe levée sur l'arc *ss'* (fig. 167), on tracera sur la face plane *abgf* (fig. *a*), l'arc de cercle *kq*; par les points *m* et *n*, et avec une cerce levée sur l'arc *rr'* (fig. 167), on tracera sur la face plane *dche* (fig. *a*), l'arc de cercle *mn*, et le morceau en question sera tracé : il suffira ensuite de faire passer une surface conique, 1°. par les arcs de cercle *ip*, *kq*, qui sera la face inférieure de la pièce; 2°. par les arcs *ip*, *mn*, qui sera la face latérale concave; 3°. par les arcs *mn*, *lo*, qui sera la face supérieure; 4°. par les arcs *lo*, *kq*, qui sera la face latérale convexe, pour que le morceau soit terminé, sauf les tenons des

bouts, que nous n'expliquerons pas, et l'entaille du milieu qui doit recevoir les tenons des pièces disposées suivant les génératrices du cône, qu'on tracera comme il suit :

Sur l'arète *ip* (fig. *a*), on fera les distances *ir*, *pu*, chacune égale à *tu* (fig. 167); sur l'arète *mn* (fig. *a*), on fera les distances *ms*, *nt* chacune égale à *rx* (fig. 167); sur l'arète *lo* (fig. *a*), on fera les distances *ly*, *ox*, chacune égale à *qy* (fig. 167); sur l'arète *kq* (fig. *a*), on fera les distances *kz*, *qv*, chacune égale à *sv* (fig. 167); on joindra les points *t* et *u*, *s* et *r*, *y* et *z*, *x* et *v* (fig. *a*) par les droites *tu*, *sr*, *yz*, *xv*; on divisera chacune de ces droites en trois parties égales, et la partie du milieu sera la largeur de l'entaille.

90. EXEMPLE 2. Si l'on avait un bâtiment terminé par un bout ou par les deux en demi-cercle, le comble serait en partie plan et en partie conique, c'est-à-dire qu'il se composerait d'un ou deux demi-combles coniques réunis par un comble plan à deux pentes, et la réunion de chaque comble conique avec le comble plan aurait lieu comme on le voit indiqué à gauche, en projection horizontale, dans la figure 167.

91. EXEMPLE 3. La figure 168 présente un exemple de comble conique percé au sommet et surmonté d'une lanterne ou espèce de belvéder.

On voit que le comble principal se termine à une couronne cylindrique AB, contre la face latérale et extérieure de laquelle viennent s'assembler les pièces de ce comble qui sont dirigées suivant les génératrices du cône. La manière dont ces assemblages ont lieu, est indiquée en profil vers les points A et B. Au-dessus de cette couronne cylindrique on voit s'élever les poteaux CD, EF, GH, IK, qui soutiennent le petit comble conique de la lanterne, lesquels poteaux doivent être assemblés juste par le bas dans la couronne cylindre AB, au moyen de tenons d'une longueur de 10 centimètres au moins, afin qu'ils soient maintenus verticalement, et doivent monter de front jusqu'au niveau du dessous d'une seconde couronne cylindrique LM, dans laquelle ils s'assemblent aussi à tenons, mais moins longs que les premiers. Sur cette dernière couronne cylindrique on en posera une troisième NO, réunie à la précédente par des goujons, qui servira de base au petit comble conique. Si la décoration l'exige, on assemblera, comme on le voit indiqué en profil, des pièces de bois en saillie, pour former la corniche contre la face extérieure de cette couronne NO. Quant aux chapiteaux ou impostes qui sont en saillie sur les poteaux à la naissance des arcades coniques qui décorent la lanterne, ils seront plaqués contre les faces de ces poteaux et arrêtés au moyen de vis. En attendant que nous expliquions la manière de faire les épures des portes coniques dans un mur cylindrique en bois, nous avons

donné une idée de leur construction dans le présent exemple de comble conique, ainsi qu'on le voit dans la figure.

92. EXEMPLE 4. Supposons une salle elliptique, et qu'il s'agisse de la couvrir par un comble conique. Soit IAB (fig. 169) le quart du plan de cette salle; on commencera par mener une ligne de terre CF parallèle au petit axe IA du plan, laquelle ligne de terre sera la projection verticale du plan horizontal sur lequel le comble doit prendre naissance; par le centre I du plan, et le point A, on élevera les perpendiculaires IG, AD à cette ligne de terre CF; on fera la hauteur CE égale à celle qu'on voudra donner au sommet de la face intérieure du comble; par le point E et le point D où la ligne de terre CF rencontre la droite AD perpendiculaire à CF, on menera la droite ED qui sera la projection verticale de la génératrice du cône intérieur dont la projection horizontale est le demi-petit axe IA du plan; parallèlement à cette droite ED, on menera la droite GF à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner au comble, et cette droite GF sera la projection verticale de la génératrice du cône supérieur, dont la projection horizontale est IA; par le point F où cette droite GF rencontre la ligne de terre CF, on abaissera la perpendiculaire FH à la droite IH, et le pied H de cette perpendiculaire sera l'extrémité du demi-petit axe IH de l'ellipse HK, qui est la projection horizontale de la naissance de la face supérieure du comble. Pour avoir le demi-grand axe IK de cette ellipse HK, on menera une droite LQ parallèle à IK, qui sera la projection verticale du plan de naissance du comble; par les points I et B on élevera les perpendiculaires IP, BM à la ligne de naissance LQ; on fera les hauteurs LN, LP, respectivement égales à CE, CG; on joindra les points N et M par la droite NM, à laquelle par le point P on menera la parallèle PQ, qui rencontrera la ligne de naissance LQ au point Q, par lequel on abaissera la perpendiculaire QK à la droite IK, et le pied K de cette perpendiculaire sera l'extrémité du demi-axe demandé. L'ellipse HK sera, si l'on veut, la trace horizontale de la face extérieure du mur.

Ce qui précède étant fait, on procédera à la disposition des pièces de bois. On commencera d'abord par déterminer les profils DUS, MRT, de la plate-forme sur laquelle le comble doit être établi, de manière que les côtés DU, MR de ces profils soient d'équerre aux droites DE, MN; on déterminera de même les joints *ki*, *tu* du patin qui doit recevoir les assemblages au sommet, et ensuite on distribuera les profils *abcd*, *efgh*, et *lmno*, *pqrs* des sablières en les espaçant également entre les joints DU, *ki*, et MR, *tu*. On obtiendra les projections verticales des arètes de la plate-forme et de celles des sablières, en menant par les sommets des profils de ces pièces de bois

des parallèles aux lignes de naissance, ainsi qu'on le voit facilement dans l'épure, et les projections horizontales des mêmes arètes, en abaissant par les mêmes sommets que ci-dessus, les perpendiculaires aa', bb', cc', ee',....., mm', nn', oo', ll', qq',...., aux droites IA, IB, dont les pieds seront les sommets des demi-axes d'une suite d'ellipses qu'on décrira par la méthode des rayons vecteurs (voyez le n°. 549 de la géométrie plane), lesquelles ellipses seront les projections demandées. Ces ellipses ne seront point semblables, et ne peuvent pas l'être, de sorte que les faces latérales des sablières ou couronnes seront des surfaces conoïdes, et non des surfaces parfaitement coniques ; mais cela ne peut être un inconvénient. Les projections horizontales des sablières étant décrites, on divisera chaque quart AB de l'ellipse de naissance, qui est aussi la trace horizontale de la face intérieure du mur, en autant de parties égales qu'on voudra avoir de pièces de bois disposées suivant les génératrices du cône, et on déterminera les projections, tant horizontales que verticales, de ces pièces de bois, comme il a été expliqué pour le comble conique à base circulaire, ainsi qu'on le voit dans l'épure actuelle.

Dans le comble à base circulaire, toutes ces pièces de bois sont de même longueur; mais dans le cas de la base elliptique, elles sont de longueur différente, et même la distance comprise entre deux sablières n'est pas partout la même : cette distance augmente en allant du sommet du petit axe de l'ellipse au sommet du grand. Ainsi il faut avoir le rabattement de chacune de ces pièces de bois, comme on le voit dans l'épure, où VX est le rabattement de la pièce dont la projection horizontale est yv, et YZ celui de la pièce dont la projection horizontale est zx. Je pense que l'inspection seule de l'épure suffira pour faire comprendre comment nous avons obtenu ces rabattemens, en faisant attention que c'est autour du centre I que les rabattemens ont eu lieu. Au moyen de ces rabattemens et de la section droite de chacune de ces pièces génératrices, il sera facile de tracer ces dernières ; quant aux sablières, on s'y prendra comme il a été expliqué au n°. 89, pour celles du comble à base circulaire, en observant qu'ici il faudra un panneau de projection horizontale pour chaque morceau en particulier, à cause du changement de courbure de l'ellipse.

93. *Remarque.* Dans les combles coniques il ne conviendrait, sous aucun rapport, d'y employer de fermes à tirant, puisque le système que nous venons d'expliquer a évidemment toute la solidité désirable, est incomparablement plus simple et plus léger que celui des fermes, et a l'avantage de laisser le dessous du comble libre, et à surface uniforme comme en dessus.

Mais on pourrait très-bien remplacer cet excellent système dans les com-

bles coniques par un autre, qui n'est pas moins recommandable, et qui consiste à faire les sablières continues, et d'assembler les pièces génératrices à tenons dans des mortaises pratiquées sur les faces latérales des sablières. Nous ferons mieux connaître ce système en traitant des voûtes.

10me. LEÇON.

Des Combles coniques tronqués.

94. EXEMPLE 1. Soit ABCDFE (fig. 170), le plan d'une salle tronquée par un mur droit et vertical DE, ce mur DE laissant le centre I de la base du mur cylindrique en dehors, et supposons qu'il s'agisse de couvrir cette salle tronquée par un comble conique droit.

On commencera par disposer le comble comme si la salle n'était pas tronquée, de la même manière qu'il a été expliqué au n°. 89, soit en projection verticale, soit en projection horizontale; ensuite, on adaptera immédiatement à la face du mur droit, une pièce de bois dont la projection verticale est GH, la projection horizontale AC, et la projection verticale sur la face du mur droit la figure courbe KLMNPO. Toutes les parties de cette épure sont assez faciles à comprendre par la seule inspection, sauf la figure courbe KLMNPO, qui a seule besoin d'être expliquée.

Pour avoir les points des lignes courbes de cette figure, qui sont les arètes de la pièce de bois adaptée à la face du mur droit, on déterminera les projections verticales *a*K*a'*O, *l*M*l'*N des pieds de cette courbe, celles *bstc*, *dvxe*,...., des intersections des couronnes horizontales ou sablières, avec les faces verticales de la pièce de bois en question, et celles L, *z*, *f* et P, des sommets dont les premières projections verticales sont les points H, Q, R et *o*. Les arcs de cercle ponctués et décrits du centre *h*, les droites ponctuées qui se raccordent avec ces arcs de cercle, et les perpendiculaires élevées à la droite AC, indiquent assez clairement la manière d'avoir ces projections. En réunissant les sommets correspondans de ces projections par des courbes à la main, on aura la figure demandée, dans laquelle nous trouverons tout-à-l'heure les panneaux nécessaires pour tracer les morceaux de bois qui doivent composer cette pièce courbe; avant cela, nous allons donner une autre manière de tracer les quatre courbes dont il vient d'être question. Pour cela, on observera que ces courbes ne sont autre chose que les intersections de plans

verticaux avec les deux faces coniques du comble; par conséquent ces courbes sont des hyperboles (voyez le n°. 159 de la géométrie à trois dimensions), puisque les plans coupans sont parallèles à l'axe commun des deux cônes. Les deux hyperboles situées dans le plan dont la projection verticale est GH, auront les mêmes axes, et leur axe réel sera la longueur RV; les deux autres hyperboles situées sur la face du mur droit auront aussi les mêmes axes, et leur axe réel sera la longueur oX. Si donc nous avions les axes imaginaires de ces hyperboles, nous pourrions les décrire par la méthode des rayons vecteurs. Or, G'H est la hauteur du sommet de l'une d'elles, et par conséquent une abscisse. L'ordonnée qui répond à cette abscisse est YK'. Représentons par x l'abscisse G'H, par y l'ordonnée YK', et par a la moitié de l'axe réel RV de cette courbe; dans l'équation $a^2y^2-b^2x^2+a^2b^2=o$ (voyez le n°. 680 de la géométrie plane), il n'y aura que le demi-axe imaginaire b d'inconnu, que l'on trouvera $b=\frac{ay}{\sqrt{x^2-a^2}}$. Pour construire cette expression, on décrira un triangle rectangle dont l'hypothénuse soit x ou G'H, et dont l'un des côtés de l'angle droit soit a ou $\frac{1}{2}$ RV: le troisième côté de ce triangle sera la valeur du radical; appelons-le p, nous aurons $b=\frac{ay}{p}$, ou $p : a :: y : b$; c'est-à-dire que le demi-axe imaginaire demandé sera quatrième proportionnel entre p, a et y, que l'on trouvera comme nous l'avons démontré au n°. 275 de la géométrie plane. Ainsi on aura par là les deux axes des deux hyperboles situées sur la face G'V de notre pièce de bois; par une construction semblable sur les longueurs oX, go et ZO', on aura le demi-axe imaginaire des deux dernières hyperboles. Cela fait, en déterminant la position respective des sommets L, z, f et P, des quatre hyperboles, sur la direction zL commune à leurs axes réels, on pourra décrire ces courbes par la méthode des rayons vecteurs.

Ayant déterminé la projection verticale KLMNPOa de la pièce courbe dont il s'agit, on la divisera en deux ou quatre morceaux; si l'on ne la divise qu'en deux morceaux, on les assemblera tout simplement à demi-épaisseur au sommet de la courbe, ainsi que les droites Pi, Pm l'indiquent, de manière à trancher le fil du bois le moins possible. Si l'on divise cette pièce courbe en quatre morceaux, ceux qui viendront se joindre au sommet s'assembleront comme il vient d'être dit, et les deux autres seront assemblés à trait de Jupiter nq, $n'q'$, au bout des premiers, de la manière qu'on voit dans la projection verticale de la pièce courbe, toujours en ayant le plus grand soin de trancher le fil du bois le moins qu'il se pourra. Pour tailler ces morceaux, supposons que la courbe doive être faite de deux morceaux; on levera un panneau qui ait la forme MlNPiLM; on prendra un

morceau de bois d'une épaisseur égale à YZ, et d'une longueur et d'une largeur égales à celles du panneau ; on dressera les deux grandes faces parallèlement entre elles, et distantes l'une de l'autre de la quantité YZ ; on tracera la forme de ce panneau sur chacune de ces deux faces, de manière que les sommets correspondans du panneau soient sur des lignes d'équerre aux faces parallèles ; et ensuite on levera deux autres panneaux, l'un NP*i'zl'*, qu'on appliquera sur la face du morceau qui doit toucher la face du mur, en le faisant raccorder avec la courbe NP qu'a déjà donné le premier panneau, et l'on tracera la courbe *l'zi'*, suivant laquelle et celle ML*i*, déjà tracée sur la face opposée du morceau de bois, on taillera une portion de surface conique, qui fera partie de la face supérieure du comble. Le second panneau à lever est celui dont la forme sera *lfki*LM, qu'on appliquera sur la face du morceau opposée à celle du mur, en le faisant raccorder avec la courbe ML*i*, déjà donnée par le premier panneau, et l'on tracera la courbe *lfk*, suivant laquelle et celle NP qu'a donné le premier panneau sur la face opposée, on taillera une portion de surface conique, qui fera partie de la face intérieure du comble, et on fera ensuite l'entaille à demi-épaisseur au sommet, dont la grandeur est la figure P*i*L*m*. Cela fait, il ne restera plus qu'à tracer et tailler les mortaises qui doivent recevoir les tenons des couronnes horizontales. Pour cela il suffira de transporter sur le morceau de bois, les projections verticales *bstc*, *dvxe*, des intersections de ces couronnes avec la face extérieure de la pièce courbe en question, ce qui ne saurait offrir de difficulté, et de tracer ensuite dans ces figures, la forme qu'on voudra donner aux mortaises. Si la pièce courbe devait être composée de quatre morceaux, après avoir déterminé la grandeur de chacun d'eux, ainsi que la forme de leurs assemblages par bout, comme il a été dit plus haut, on leverait des panneaux qui contiendraient le plus grand contour de chacun d'eux, dont on ferait l'usage qui vient d'être dit plus haut pour le cas de deux morceaux.

95. EXEMPLE 2. Supposons une salle à base circulaire ABC (fig. 171), et que le diamètre de cette base soit l'axe du mur de face BDEF d'un bâtiment dont la salle circulaire fait partie ; supposons de plus que cette salle soit couverte d'un comble conique et le reste du bâtiment d'un comble plan, composé d'après le système décrit dans la huitième leçon ; que le comble conique soit entier, et le comble plan soit tronqué par ce dernier.

Cela posé, on dessinera les deux projections du comble conique comme il a été dit au n°. 89, et celle du comble plan, ainsi qu'il a été expliqué en son lieu. Quand tout sera disposé de cette manière, tel qu'on le voit dans l'épure, on supposera les deux faces du comble plan, dont les projections verticales sont

les droites PS, QR, se prolonger dans l'épaisseur du comble conique, et on concevra que l'espace compris entre les prolongemens de ces deux plans et les portions des deux faces du comble conique interceptées entre eux, soit occupé par une pièce de bois qui servira de lien aux deux combles, dont la projection verticale est PQTU, et la projection horizontale *abcdef*. Les arètes de cette pièce, qui est maintenant la seule qui offre des difficultés, seront les intersections des faces des deux combles, et seront des sections coniques. Si la pente du comble plan est la même que celle du comble conique, ces courbes seront des paraboles; elles seront de portions d'ellipse ou des hyperboles, au contraire, si ces deux pentes sont différentes. Elles seront des hyperboles lorsque la pente du comble plan sera plus rapide que celle du comble conique, et des portions d'ellipse dans le cas contraire : c'est le cas de notre exemple.

96. 1°. Si ces courbes étaient des paraboles, leurs projections horizontales *cd*, *be* et *af* en seraient aussi, et pour les décrire il suffirait d'abaisser, par les points U, T et X, les perpendiculaires U*d*, T*e*, X*f* au diamètre AC, dont les pieds *d*, *e* et *f* seraient les sommets des paraboles demandées, et par les points Q, b', c' et g', où les projections verticales des faces du comble plan rencontrent celles des arètes de la plate-forme qui sert de base au comble conique, d'abaisser, au même diamètre AC, les perpendiculaires Qa', $b'b''$, $c'c''$ et $g'g''$; lesquelles donneront d'une part les points *a*, *b*, *c* et *g* sur les projections horizontales des arètes de la plate-forme du comble conique, et de l'autre, les ordonnées aa', bb'', cc'' et gg''. Ainsi on aura tout ce qu'il faut pour décrire les paraboles *af*, *be*, *cd*, par le procédé du n°. 455 ou du n° 457 de la géométrie plane.

2°. Si ces courbes étaient des hyperboles, on en aurait les axes par le procédé du n°. 94, eu égard à la disposition de la figure.

97. 3°. Enfin, dans le cas de notre exemple, où ces courbes sont des portions d'ellipse, voici comment on trouvera les axes :

Supposons qu'il s'agisse de la projection horizontale *af* de l'intersection de la face supérieure du comble plan avec la face intérieure du comble conique; on prolongera les droites RQ, Y'M jusqu'à leur rencontre au point Z; on divisera, en deux parties égales, la longueur de la droite XZ, comprise entre les génératrices Y'M, Y'L du cône intérieur, par le point C', qui sera le centre de la section; pour avoir la projection horizontale C de ce centre, par le point C' on abaissera la perpendiculaire C'C sur AC, dont le pied C sera le centre de la projection horizontale de l'ellipse en question, dont le demi-grand axe sera C*f*. Pour avoir le demi-petit axe Cf' de cette même projection, par le point C' on menera la droite C'C''' perpendiculaire à l'axe YY' du cône, qui rencontrera la génératrice Y'L prolongée, au point C'''; par le point Y,

comme centre, et avec le rayon YC‴, on décrira le cercle C‴C″; par le point C′ on élevera la perpendiculaire C′C″ au diamètre C‴C′, laquelle sera le demi-petit axe C*f*′. Ainsi on pourra décrire la projection *af* dont il s'agit, par l'un des procédés donnés au n°. 549 et suivans de la géométrie plane. On aurait les axes des autres ellipses en opérant de la même manière sur les lignes correspondantes.

98. Mais sans connaître la nature des courbes *af*, *be*, *cd*, on peut les décrire par un procédé tout-à-fait général, que voici :

Ayant trouvé les points *a*, *b*, *c*, *g*, et les sommets *f*, *e* et *d*, comme il a été dit ci-dessus, il ne nous reste qu'à trouver un certain nombre de points intermédiaires, et pour cela, supposons qu'il s'agisse de la projection horizontale *af* de l'intersection de la face supérieure du comble plan avec la face intérieure du comble conique; pour trouver un point intermédiaire *l* de cette courbe, on menera une horizontale *hi*, qui sera la projection verticale d'un plan horizontal qui coupera le cône intérieur suivant un cercle, et la face supérieure du comble plan suivant une droite ; pour avoir la projection horizontale du cercle, par le point *h*, on abaissera la perpendiculaire *hk* au diamètre AC; par le centre I et le rayon I*k*, on décrira l'arc de cercle *kl*, qui sera une portion de la projection demandée; si ensuite par le point *i* on abaisse la perpendiculaire *il* à AC, le point *l* où cette droite *il* rencontrera l'arc *kl*, sera un point de la courbe *alf*. On aurait autant d'autres points de cette courbe qu'on voudrait, en opérant de la même manière. La même méthode servira aussi pour avoir les points des autres courbes *bc*, *cd*, en observant que les points correspondans au point *h*, seront sur la génératrice Y′L du cône intérieur, ou sur la génératrice I′K du cône extérieur, selon que la courbe en question est l'intersection des faces du comble plan avec la face intérieure ou avec la face extérieure du comble conique. De même, les points correspondans au point *i* seront sur la droite RQ ou sur SP, selon qu'il s'agira de la face supérieure ou de la face inférieure du comble plan.

On voit, en projection horizontale, comment les pièces de bois des deux combles doivent s'assembler à tenons dans la pièce courbe perdue dans leur épaisseur, et dont nous venons d'expliquer les projections. On observera que le pied de cette pièce courbe, dont la projection horizontale est la figure *abcg*, vient s'assembler à tenons dans la plate-forme du comble conique, et que cette pièce se compose de trois morceaux assemblés à tenons dans les deux morceaux du comble conique dont la projection horizontale de l'un d'eux est *mn*.

Pour pouvoir tracer les morceaux de cette pièce courbe, il faut avoir un

panneau pris dans le plan QR, qui n'est autre chose que la projection de la pièce sur la face supérieure du comble plan.

Pour avoir cette projection, il suffira d'avoir celles, sur le même plan, des intersections des morceaux de bois des deux combles avec les faces de cette pièce courbe; car les sommets de ces intersections étant sur les arètes de la pièce, quand on aura leurs projections, on n'aura qu'à les réunir convenablement par des courbes, pour avoir celles des arètes de la pièce. Les projections de toutes ces intersections sur la face supérieure du comble plan serviront en outre à tracer convenablement les mortaises qui doivent recevoir les tenons des pièces des deux combles. Ce panneau est la figure *a*; pour l'obtenir, on abaissera des perpendiculaires sur la droite IY par les sommets des projections horizontales des intersections dont il vient d'être parlé; on transportera les distances consécutives comprises entre les pieds de toutes ces perpendiculaires sur la droite *ab* (fig. *a*), et par les points ainsi déterminés sur cette droite *ab*, on élevera des perpendiculaires indéfinies à cette droite *ab*; on ira chercher les longueurs de ces perpendiculaires, à partir du point Q sur la droite QR, s'il s'agit de points situés sur la face supérieure du comble plan, ou à partir du point P, sur la droite PS, si les points à déterminer sont sur la face inférieure du même comble. Les longueurs, sur les droites QR, PS seront déterminées par les projections verticales des intersections des morceaux des deux combles avec les faces de notre pièce courbe. Je n'explique pas ce panneau en détail, parce qu'il faudrait, pour cela, beaucoup de lignes et surtout de lettres d'indication de plus sur l'épure, ce qui rendrait peut-être la chose encore plus difficile à comprendre. Au surplus, un lecteur intelligent saura bien suppléer à ce que je ne dis pas, d'après ce que je dis.

Quant à la manière de tracer et de tailler les morceaux de cette pièce courbe, une fois le panneau obtenu, elle est la même que pour la pièce courbe de l'épure précédente.

On aura les longeurs des morceaux des deux combles qui viennent s'assembler avec cette pièce, ainsi que le biais des joints, dans la projection verticale, pour ceux du comble plan, et en faisant le rabattement des morceaux disposés suivant les génératrices, pour ceux du comble conique.

99. EXEMPLE 3. La figure 172 est l'épure de la rencontre d'un comble plan avec un comble conique. Cette épure ne diffère de la précédente, qu'en ce qu'ici c'est le comble plan qui est entier, et le comble conique qui est tronqué; de sorte que le cas présent est le contraire de l'exemple que nous venons d'expliquer. On voit que dans l'exemple actuel, la salle que couvre le comble

conique n'est que demi-circulaire. On conçoit que, à cause de la presque parfaite similitude entre cette épure et la précédente, il serait superflu d'entrer ici dans le moindre détail.

Nous pourrions encore varier les rencontres des combles plans et de combles coniques; mais comme il nous reste encore beaucoup de choses à dire qui sont plus indispensables, et qu'il faut donner des bornes à l'étendue d'un ouvrage élémentaire, nous nous contenterons de ce qui précède sur ce sujet.

11me. LEÇON.

Des Combles cylindriques en ogive, d'après le système de Philibert de Lorme.

Avant d'expliquer le système de Philibert de Lorme, observons que celui de Serlio est aussi applicable aux combles cylindriques, et donnons un exemple de ce genre de comble, d'après un troisième système, fort remarquable par sa simplicité.

100. Supposons un bâtiment rectangulaire DABC (fig. 173), et qu'on veuille le couvrir par un comble cylindrique à quatre pentes, la section droite prise au milieu des longs murs AD, BC de la salle étant une *ogive*. Cela posé, après avoir déterminé les projections verticales LE, MF des murs opposés AD, BC, on déterminera la projection verticale NO d'une plate-forme qui sera posée immédiatement sur les murs tout autour de la salle; par le point E, où la projection verticale LE de la face intérieure du mur AD rencontre celle NO de la face supérieure de la plate-forme, comme centre, et avec le rayon EF égal à la largeur de la salle, on décrira l'arc FG; par le point correspondant F, comme centre, et avec le même rayon FE, on décrira l'arc EG; l'ensemble des deux arcs de cercle FG, EG sera ce qu'on appelle une *ogive*, et sera celle qui résulte de l'intersection du plan de la section droite avec la face du dessous du comble. Pour avoir l'ogive NHO appartenante à la face supérieure du comble, on fera EN égal à l'épaisseur qu'on voudra donner à ce comble, et par le centre F et le rayon FN, on décrira l'arc NH; par le centre E et le même rayon, on décrira l'arc OH, et l'ensemble des deux arcs NH, OH sera l'ogive demandée.

Cela fait, on distribuera en rectangles égaux *a*, *b*, *c*, *d*, *e* et *f*, symétriquement à égales distances les uns des autres, les bandes comprises entre les deux ogives, lesquels rectangles seront les profils de pièces de bois dont

les longues arètes seront disposées horizontalement, et formeront des espèces de cadres, dont les côtés seront parallèles aux quatre murs de la salle, et seront placés au-dessus les uns des autres, et à des distances égales à celle qui existe entre les profils *a*, *b*, *c*, etc., des côtés de ces mêmes cadres. En joignant les sommets des rectangles *a*, *b*, *c*, *d*, *e* et *f*, par des droites, on aura les projections verticales des côtés de ces cadres qui se trouvent du côté du mur AB. Pour avoir les projections horizontales de ces cadres, on divisera les angles A et B des murs, en deux également par les droites AI, BI, qui se joindront au point I sur la projection horizontale IK du sommet H du comble; puis, par les sommets des rectangles *a*, *b*, *c*, *d*, *e* et *f*, on abaissera des perpendiculaires à la droite NO, parallèle à AB, et par les points correspondans où ces perpendiculaires rencontreront les droites AI, BI, on menera des droites qui seront parallèles à AB. Au sommet I commun à trois pentes contiguës, on mettra un patin exagone, comme on le voit en projection horizontale, dans lequel le faîtage IK viendra s'assembler à tenons. Pour soutenir le patin I et le faîtage IK, ainsi que les cadres qui, jusqu'à présent, sont supposés isolés les uns au-dessus des autres, on interposera entre les côtés de ces cadres et du faîtage, ainsi que du patin, des morceaux de bois qui auront la courbure des ogives, et qui seront assemblés dans les côtés de ces cadres et faîtages à tenons et mortaises. La figure NE*hg* est la véritable forme d'une des faces latérales de l'un de ces morceaux courbes. Il suffit de jeter les yeux sur la projection horizontale du comble entier, pour voir comment on aura celle de ces morceaux courbes.

On voit que, de cette manière, notre comble se trouve fait comme par assises les unes sur les autres. Nous désignerons en effet ce système de charpente, dont nous ferons usage dans les voûtes, par l'expression de *système par assises*, et celui qui tient aux planchers à la Serlio, par celle de *système par combinaison.* Continuons d'expliquer la présente épure.

Il nous manque encore, pour avoir tout ce qu'il faut pour tracer les morceaux de bois, le rabattement des morceaux situés aux intersections des faces du comble, qui doivent soutenir les coins des cadres et former les croupes. Pour avoir ce rabattement, on menera une droite PQ parallèle à AI, qui sera la ligne de terre, ou la projection verticale du dessus de la plate-forme qui sert de base au comble; par les points où les projections horizontales des arètes des cadres rencontrent les droites UV et AI, on élevera des perpendiculaires indéfinies à la droite PQ; à partir de la droite PQ on fera ces perpendiculaires respectivement égales deux à deux aux distances des sommets des rectangles *a*, *b* et *c* à la droite NO, et les extrémités de ces perpendicu-

laires seront les points par lesquels il faudra faire passer, à la main, les courbes PR, *ml*, *ik* et TS. Pour avoir les points S, *k*, *l* et R, on fera les hauteurs QS, Q*k*, Q*l* et QR respectivement égales à *no*, *np*, *nq* et *nr*. On obtiendra les courbes *tq*, *so*, qui sont les projections verticales des arêtes latérales des courbes de croupe, en faisant les distances comprises horizontalement entre NH et *tq*, entre EG et *so*, égales à AU. Les courbes PR, *ml*, *ik* et TS sont des arcs d'ellipse, celles PR et *ik* sont les intersections des faces du comble, et celles *ml*, TS sont les arètes des faces latérales des pièces de croupe. L'épure indique le reste.

Je laisse à l'intelligence du lecteur de chercher les moyens de tracer chaque morceau. La figure *a* représente un des morceaux dont les faces latérales sont la figure NE*hg*; la figure *b* est le morceau dont la projection horizontale est *uvxy*, et la projection verticale $u'y'x''x'v'v''$; la figure *c* est le morceau de croupe dont le rabattement est $a^2a^3b^3b^2$, et la figure *d* est un côté du troisième cadre, dont la projection horizontale est $c^2c^3c^4c^5$. Passons maintenant aux combles à la Philibert de Lorme.

101. EXEMPLE I. Supposons un comble tout-à-fait semblable à celui de l'exemple précédent, quant à la forme, et construisons-le d'après le système de Philibert de Lorme.

Pour disposer ce comble, après avoir déterminé la projection horizontale AI (fig. 174) de la croupe, et la projection verticale *abcdef* des ogives, comme dans l'exemple précédent, on menera, par le point I, une droite GH perpendiculaire à AC, laquelle droite GH sera la projection horizontale du milieu d'une ogive; on établira une semblable ogive au point correspondant au point I; entre ces deux ogives parallèles, on en interposera autant d'autres qu'on voudra, qu'on espacera également, dont les projections horizontales sont EF, CD,..... L'espace entre deux ogives sera au moins de 30 centimètres, et au plus d'un mètre. Pour fermer l'espace dont la projection horizontale est le triangle GIA, parallèlement à l'ogive GH, on disposera des portions d'ogive, dont les projections horizontales sont KL, OP, de manière que l'espacement de ces portions d'ogive soit le même que celui des ogives entières, sauf la distance OA, qui pourra être plus ou moins grande que les autres.

Enfin, sur le mur AB, et son correspondant, on établira des portions d'ogive pour remplir l'espace compris entre les deux ogives de croupe, dont les projections horizontales sont QR, ST, UV, XY, ..., que l'on espacera comme les autres. Toutes ces ogives seront, par le bas, assemblées à tenons dans une plate-forme établie sur les murs, et dans toutes leurs longueurs, dont le profil est A'. Pour les réunir entre elles, on les per-

cera, dans toute leur épaisseur, et de distance en distance, de mortaises *gh*, *ek*, *lm*, *no*, etc., dans lesquelles on fera passer des morceaux de planche d'environ 18 à 20 centimètres de large, 3 ou 4 centimètres d'épaisseur, et d'une longueur égale à 2 ou 3 intervalles d'ogive. Les mortaises seront assez grandes pour que les morceaux de planche glissent juste dedans. Dans les deux projections de l'épure, on voit de quelle manière il convient de distribuer les longueurs de ces morceaux de planche, afin que toutes les parties du comble soient réunies les unes aux autres le plus parfaitement possible. Puisque nous venons de dire que les morceaux de planche peuvent glisser librement dans les mortaises pratiquées au travers des ogives, ces planches toutes seules ne peuvent pas opérer cette réunion; c'est pour cela que de chaque côté de chaque ogive, on pratique, dans ces liens de planche, une petite mortaise dans laquelle on fait entrer de force un petit coin, indiqué par la lettre *t*, dans les deux projections de l'épure. Ces petits coins pressent fortement les ogives et réunissent le tout d'une manière très-solide. Les lettres *s*, *r*, *q*, *p*,...., dans la projection verticale du comble, présentent ces petits coins dans le sens de leur longueur, et traversant les liens de planche.

Les portions d'ogive qui répondent aux demi-ogives de croupe, peuvent, par le haut, s'assembler à tenons dans des mortaises pratiquées dans ces demi-ogives de croupe, mais très-souvent on peut supprimer ces tenons sans nuire beaucoup à la solidité, attendu que les liens de planche et les petits coins qui traversent ces derniers, pressent les bouts supérieurs de ces portions d'ogive contre les faces latérales des demi-ogives de croupe, et, de plus, ces portions d'ogive étant beaucoup plus longues en haut qu'en bas, ne sauraient se déranger de leur place. Les demi-ogives de croupe, et celle dont la projection horizontale est UV, se réunissent et se contre-boutent en haut, contre la face latérale correspondante de celle dont la projection horizontale est GH, sans aucune espèce de tenons, et cependant il n'y a aucune crainte à avoir sous le rapport de la solidité, une fois, surtout, que tous les petits coins *t* sont serrés convenablement. On observera que ces coins, pour être bien faits, doivent aller en diminuant de grosseur d'une manière peu sensible : si on les faisait trop roides, ils lâcheraient après avoir été serrés.

Il ne nous manque plus, maintenant, qu'à expliquer comment on doit former les ogives. Philibert de Lorme les forme de deux rangs de planches posées à plat l'un sur l'autre, de sorte que l'épaisseur de l'ogive est égale à deux épaisseurs de planche, c'est-à-dire à 5 ou 6 centimètres et plus.

Pour disposer les morceaux de planche de manière à former un tout solide, et pour y parvenir avec facilité, on se conduira comme il suit :

Après avoir décrit sur un sol bien droit les ogives qui déterminent la forme et la grosseur de l'espèce de ferme cintrée que l'on veut faire, on pose, sur l'épure, des morceaux de planche, les uns au bout des autres, de manière qu'ils se touchent tous en joint, et qu'ils recouvrent de toute part les arcs de cercle des ogives. Les joints par lesquels ces morceaux de planche se touchent, doivent être coupés de manière à les faire tendre au centre des arcs de cercle. On assujétira provisoirement ce premier rang de planches de manière que chaque morceau ne puisse bouger de sa place ; ensuite on posera dessus un second rang, qu'on disposera de la même manière, en observant de contrarier les joints le plus qu'on pourra ; puis, on réunira ces deux rangs de planches avec de forts clous, bien distribués, les uns rivés d'un côté, les autres rivés de l'autre côté, en observant de ne pas en mettre aux endroits où il faudra faire des mortaises, ainsi qu'on le voit indiqué dans la figure *a*. Ayant ainsi fortement réuni les deux rangs de planches, on tracera les deux ogives dessus, et on taillera la courbure de l'espèce de ferme cintrée, qui sera terminée lorsqu'on aura percé les mortaises dans lesquelles doivent passer les liens de planche. On construira les demi-ogives de croupe de la même manière, après en avoir décrit les courbes, comme dans l'exemple du numéro précédent. La figure *b* présente en perspective l'une de ces demi-ogives, où l'on voit un tenon à la partie supérieure, aussi bien qu'à la partie inférieure, pour le cas où l'assemblage expliqué plus haut serait jugé insuffisant. La figure *c* présente la forme d'un des liens des ogives, avec la disposition des mortaises *a*, dans lesquelles doivent entrer les coins de pression. Enfin, la figure *d* est une des portions d'ogive qui viennent s'adapter aux faces latérales des demi-ogives de croupe.

Quant à la manière de tracer les morceaux qui composent ce comble, elle est trop simple, pour qu'il soit nécessaire de l'expliquer ; nous ferons observer seulement, que les plus grandes longueurs des portions d'ogive qui s'adaptent aux croupes, sont *fu* pour toutes celles qui sont semblables à celles dont les projections horizontales sont OP, QR, et *fy* pour celles qui sont semblables à celles dont les projections horizontales sont KL, ST, XY.

102. EXEMPLE 2. La figure 175 offre un exemple de comble en ogive à la Philibert de Lorme, tout-à-fait semblable au précédent, avec cette différence que, le plat des planches, qui servent de liens aux ogives, est disposé de manière qu'il tende aux centres correspondans des ogives, tandis que dans l'exemple précédent, il est disposé perpendiculairement aux rayons

qui répondent aux milieux des largeurs des planches. L'inspection seule de la figure 175 montre les détails du comble. Quant à la construction des ogives, elle est la même que celle que nous avons expliquée dans le numéro précédent.

103. EXEMPLE 3. Tout étant supposé comme dans les exemples précédens, on peut réunir les ogives comme on le voit indiqué en perspective par la figure 176, où 1°. LM est un morceau de plate-forme qui sert de base au comble; 2°. AB, CD sont des portions d'ogive; 3°. EF, GH sont des liens assemblés à queue d'aronde dans les ogives, affleurant en dessous; et 4°. IK est un des morceaux de planche entaillés de leurs épaisseurs dans les ogives en dessus. Ces liens EF, GH, IK, etc., ne peuvent entretenir l'écartement des ogives, qu'en les fixant à ces dernières avec des chevilles de bois, ou mieux encore, avec des vis en fer. Comme ces chevilles deviennent indispensables, on pourrait ne pas faire à queue d'aronde les liens EF, GH, etc., du dessous, par la raison que la forme en queue d'aronde n'a d'autre objet que d'empêcher ces liens de sortir de leurs entailles, par leur propre poids, ce à quoi les chevilles ou les vis s'opposent suffisamment.

104. EXEMPLE 4. Tout étant encore supposé comme dans les exemples précédens, on pourrait relier les ogives de la manière qu'on voit représentée par la figure 177, où 1°. LM est un morceau de la plate-forme qui sert de base au comble; 2°. AB, CD sont des portions d'ogive; 3°. les liens IK, NO sont semblables à ceux du premier exemple; 4°. les liens EF, GH et leurs semblables qui sont des espèces de moises réunies par des clefs ou aiguilles *a*, traversées par le bas par un petit coin en bois ou en fer, qui sert à rapprocher les deux moises, et à presser les ogives. Il vaudrait mieux substituer de petits boulons à ces aiguilles, parce qu'ils presseraient davantage et ne dépasseraient pas l'épaisseur du comble, comme ces aiguilles.

105. EXEMPLE 5. En supposant toujours les mêmes choses que dans les exemples précédens, on pourrait maintenir l'écartement des ogives, comme on le voit dans la figure 178, par des planches AB, CD, EF, assemblées dans les ogives au moyen d'entailles à demi-largeur, comme la planche EF, détachée des ogives, et la figure 179 l'indiquent. On donne à ces planches, ainsi entaillées, le nom de *liernes*. La largeur des liernes est la même que celle des ogives, pour qu'il y ait affleurement sur chaque face du comble. Cette manière de réunir les ogives est la plus convenable, lorsque le dessous du comble, formant voûte, doit être décoré de

qu'à deux égouts, dont le cintre principal serait une ogive. Ainsi on peut construire les voûtes en berceau, d'après chacun des systêmes que nous avons expliqués dans cette dernière leçon. Il nous suffira, en conséquence, de donner deux exemples de cette espèce de berceaux, pour faire comprendre que ce genre de construction peut se faire encore d'autres manières.

108. EXEMPLE I. Supposons (fig. 181), que les droites AD, BD soient les traces horizontales des faces intérieures des murs opposés et parallèles d'une salle, d'une galerie ou d'un vestibule : ces deux droites seront les projections horizontales des génératrices de naissance de l'intrados du berceau. Cela posé, supposons que les faces intérieures des deux murs AD, BD soient décorées de pilastres dont les projections horizontales soient EFGA, HIKB, CMNO, DPQR, etc., et que sur les pilastres opposés, pris deux à deux, il soit établi un berceau d'une longueur égale au diamètre de ces mêmes pilastres : il est clair que l'intrados de ces derniers berceaux sera plus bas que celui du berceau principal, de tout l'avancement des pilastres par rapport aux faces intérieures des murs.

On appelle *arcs-doubleaux* ces berceaux établis sur les pilastres, et en général tous ceux qui forment une espèce de ceinture sur l'intrados d'une voûte principale. L'intrados d'un arc doubleau doit être parallèle à celui de la voûte principale.

Maintenant décrivons le cintre *abc* de l'intrados des arcs-doubleaux; celui *def* du berceau principal, celui *ghi* de l'extrados des arcs doubleaux, et celui *klm* de l'extrados du berceau. Cela fait, supposons que l'intrados de la voûte principale doive être décoré de caissons carrés. Cela posé, voici comment on distribuera les pièces de bois, pour former ces caissons, en supposant qu'on en veuille un rang au sommet de la voûte.

On commencera par distribuer les caissons sur la distance BC comprise entre deux pilastres, en observant de mettre une côte immédiatement contre les arcs-doubleaux, et de faire en sorte que le nombre des caissons soit impair. La largeur des caissons et celle des côtes étant déterminées sur la distance BC, on prendra la moitié de celle d'un caisson, que l'on portera de *e* en *o* et en *o'* sur le cintre *def* de l'intrados du berceau, de sorte que *oo'* sera la largeur du rang de caissons situé au sommet de la voûte. Puis, on portera la largeur d'une côte de *o* en *p* et de *o'* en *p'*; puis la largeur d'un caisson de *p* en *q* et de *p'* en *q'*, et ainsi de suite, jusques vers les naissances du berceau. On observera que, attendu que la saillie de la corniche cache une partie de l'intrados de la voûte vers les naissances, il est inutile de faire descendre les rangs de caissons jusqu'à ces naissances; de sorte que les hauteurs *ds*, *ft*, qui

pourront être plus ou moins grandes qu'un caisson, seront lisses et à fleur de l'intrados. La corniche servira de plate-forme et recevra les assemblages des naissances de la voûte.

D'après toutes ces conditions, on voit que les pièces de bois qui formeront la voûte, donneront les côtes des caissons. Le meilleur système qui convienne à ce genre de voûte, est celui par combinaison ou à la Serlio. L'épure explique elle-même les détails du berceau : on voit la coupe STUV prise sur la droite XY. Dans cette coupe je n'ai point marqué les joints des morceaux de bois, pour mieux faire ressortir la forme des caissons. Les lignes ponctuées indiquent la manière d'avoir cette coupe. On remarquera dans l'autre coupe, des solives *u*, *v*, de niveau, qui s'assemblent dans les pans de bois ou les murs qui s'élèvent au-dessus de la voûte, et sur le cintre de cette dernière. Ces solives sont destinées à former un plancher au-dessus de la voûte, qui servira à niveler l'extrados et recevra le carrelage ou le parquet. Souvent on peut se contenter de niveler l'extrados, en remplissant les reins de la voûte avec des scories de charbon de terre ou de houille, jusqu'au sommet de l'extrados.

109. EXEMPLE 2. Si le berceau touchait à un comble plan, on pourrait disposer les choses de manière que le comble et la voûte ne fissent qu'une seule et même construction, ainsi qu'on le voit dans la fig. 182. Il nous suffira d'expliquer la construction de l'une des fermes cintrées.

Cette ferme se compose de deux espèces d'arbalêtriers DE, CE, assemblés l'un à l'autre à demi-épaisseur à leur sommet E. Les bouts inférieurs D, C de ces arbalêtriers, s'assemblent aussi à demi-épaisseur avec les bouts supérieurs de deux poteaux AD, BC, qui soutiennent les pieds des arbalêtriers, et qui font partie du cintre de la voûte, depuis les points de naissance jusqu'aux points F, L. Ces poteaux AD, BC sont pour ainsi dire enchâssés de toute leur largeur dans l'épaisseur des murs, et leurs bouts inférieurs posent sur des plates-formes A*a*, *c*B, qui sont enchâssés aussi de toute leur largeur dans les murs au-dessus de la corniche. Les deux arbalêtriers DE, CE sont taillés vers leur milieu GH, IK, suivant la courbure du cintre de la voûte, et aux points G, H, I, K, ils portent des joints normaux à ce cintre. Pour empêcher les angles ADE, BCE de varier, se trouvent les pièces en écharpe *defg*GF, *srqp*KL, assemblées à demi-épaisseur avec les poteaux AD, BC, et avec les arbalêtriers DE, CE. Ces deux écharpes font aussi partie du cintre de la voûte dans l'étendue des arcs FG, LK. Enfin, pour empêcher l'angle DEC de varier, se trouve une espèce de faux entrait *lmno*I*b*H, qui s'assemble à demi-épaisseur dans les deux arbalêtriers, et forme le reste H*b*I du cintre de la voûte. Toutes ces pièces de bois étant bien chevillées aux en-

droits des assemblages, formeront une ferme cintrée d'une bonne solidité. Ces pièces de bois devront être des madriers ou membrures de 5 à 10 centimètres d'épaisseur, sur 18 à 30 ou 35 centimètres de large. On pourrait aussi construire ces fermes cintrées, en formant chacune des pièces que nous venons de décrire, de deux planches clouées à plat l'une contre l'autre, comme nous l'avons expliqué en parlant du système de Philibert de Lorme.

La figure *a* représente en perspective la forme du morceau *lmnolb*H, qui est à peu près la même que celle du morceau *defg*GF; la figure *b* représente celle d'un arbalétrier DE, et la figure *c* représente celle d'un poteau AD.

Pour former le comble voûté, on disposera un certain nombre de fermes cintrées, parallèlement entre elles, comme nous l'avons expliqué pour les combles cylindriques à la Philibert de Lorme, et on les réunira par des liernes ou des entre-toises, comme nous l'avons expliqué pour les mêmes combles. Les profils de ces liernes ou de ces entre-troises sont marqués *x* dans la projection verticale de la ferme cintrée, où les mortaises qui doivent recevoir les tenons des entre-toises sont indiquées par des petits carrés. On voit que quelques-unes de ces entre-toises sont plus larges que les autres, pour qu'elles affleurent les faces du comble et l'intrados de la voûte. Les plus larges ont deux tenons, et pourraient se faire de deux morceaux, en joint l'un contre l'autre, si l'on n'avait pas de bois assez large. La longueur des tenons sera un peu moindre que la moitié de l'épaisseur des fermes. Il ne sera pas nécessaire de les cheviller, ou il suffira de remplacer les chevilles par de forts clous-épingles.

Des Berceaux en arcade dans un pan de bois droit.

110. EXEMPLE I. Supposons (fig. 183) que les parallélogrammes ABCD, EFGH soient les bases des poteaux d'huisserie de l'arcade à construire au travers d'un pan de bois droit dont les traces horizontales des faces sont les droites AG, DF. Si ces parallélogrammes sont rectangles, l'arcade sera droite; et s'ils sont obliques, l'arcade sera biaise; c'est ce dernier cas que nous supposons, ainsi qu'on le voit dans l'épure, parce qu'il nous sera facile de passer de ce cas au premier. Cela posé, voici comment on fera l'épure, et on tracera les morceaux de bois de cette arcade.

On prendra une ligne de terre KL parallèle à DF, à laquelle par les sommets des bases des poteaux d'huisserie, on élevera des perpendiculaires indéfinies au-dessus de cette ligne de terre, lesquelles perpendiculaires seront les projections verticales des arètes de ces poteaux d'huisserie. Supposons, à pré-

pourront être plus ou moins grandes qu'un caisson, seront lisses et à fleur de l'intrados. La corniche servira de plate-forme et recevra les assemblages des naissances de la voûte.

D'après toutes ces conditions, on voit que les pièces de bois qui formeront la voûte, donneront les côtes des caissons. Le meilleur système qui convienne à ce genre de voûte, est celui en imitation des planchers à la Serlio. L'épure explique elle-même les détails du berceau : on voit la coupe STUV prise sur la droite XY. Dans cette coupe je n'ai point marqué les joints des morceaux de bois, pour mieux faire ressortir la forme des caissons. Les lignes ponctuées indiquent la manière d'avoir cette coupe. On remarquera dans l'autre coupe, des solives *u*, *v*, de niveau, qui s'assemblent dans les pans de bois ou les murs qui s'élèvent au-dessus de la voûte, et sur le cintre de cette dernière. Ces solives sont destinées à former un plancher au-dessus de la voûte, qui servira à niveler l'extrados et recevra le carrelage ou le parquet. Souvent on peut se contenter de niveler l'extrados, en remplissant les reins de la voûte avec des scories de charbon de terre ou de houille, jusqu'au sommet de l'extrados.

109. EXEMPLE 2. Si le berceau touchait à un comble plan, on pourrait disposer les choses de manière que le comble et la voûte ne fissent qu'une seule et même construction, ainsi qu'on le voit dans la figure 182. Il nous suffira d'expliquer la construction de l'une des fermes cintrées.

Cette ferme se compose de deux espèces d'arbalêtriers DE, CE assemblés l'un à l'autre à demi-épaisseur à leur sommet E. Les bouts inférieurs D, C de ces arbalêtriers, s'assemblent aussi à demi-épaisseur avec les bouts supérieurs de deux poteaux AD, BC, qui soutiennent les pieds des arbalêtriers, et qui font partie du cintre de la voûte, depuis les points de naissance jusqu'aux points F, L. Ces poteaux AD, BC sont pour ainsi dire enchâssés de toute leur largeur dans l'épaisseur des murs, et leurs bouts inférieurs posent sur des plates-formes A*a*, *c*B, qui sont enchâssés aussi de toute leur largeur dans les murs au-dessus de la corniche. Les deux arbalêtriers DE, CE sont taillés vers leur milieu GH, IK, suivant la courbure du cintre de la voûte, et aux points G, H, I, K, ils portent des joints normaux à ce cintre. Pour empêcher les angles ADE, BCE de varier, se trouvent les pièces en écharpe *defg*GF, *srqp*KL, assemblées à demi-épaisseur avec les poteaux AD, BC, et avec les arbalêtriers DE, CE. Ces deux écharpes font aussi partie du cintre de la voûte dans l'étendue des arcs FG, LK. Enfin, pour empêcher l'angle DEC de varier, se trouve une espèce de faux entrait *lmno*I*b*H, qui s'assemble à demi-épaisseur dans les deux arbalêtriers, et forme le reste H*b*I du cintre de la voûte. Toutes ces pièces de bois étant bien chevillées aux en-

droits des assemblages, formeront une ferme cintrée d'une bonne solidité. Ces pièces de bois devront être des madriers ou membrures de 5 à 10 centimètres d'épaisseur, sur 18 à 30 ou 35 centimètres de large. On pourrait aussi construire ces fermes cintrées, en formant chacune des pièces que nous venons de décrire, de deux planches clouées à plat l'une contre l'autre, comme nous l'avons expliqué en parlant du système de Philibert de Lorme.

La figure *a* représente en perspective la forme du morceau *lmno*I*b*H, qui est à peu près la même que celle du morceau *defg*GF ; la figure *b* représente celle d'un albalêtrier DE, et la figure *c* celle d'un poteau AD.

Pour former le comble voûté, on disposera un certain nombre de fermes cintrées, parallèlement entre elles, comme nous l'avons expliqué pour les combles cylindriques à la Philibert de Lorme, et on les réunira par des liernes ou des entre-toises, comme il a été dit pour les mêmes combles. Les profils de ces liernes ou de ces entre-toises sont marqué *x* dans la projection verticale de la ferme cintrée, où les mortaises qui doivent recevoir les tenons des entre-toises sont indiquées par des petits carrés. On voit que quelques-unes de ces entre-toises sont plus larges que les autres, pour qu'elles affleurent les faces du comble et l'intrados de la voûte. Les plus larges ont deux tenons, et pourraient se faire de deux morceaux, en joint l'un sur l'autre, si l'on n'avait pas de bois assez large. La longueur des tenons sera un peu moindre que la moitié de l'épaisseur des fermes, quand les entre-toises se correspondront sur la même ligne, et traverseront toute cette épaisseur, ou, dans le cas contraire, la dépasseront, pour pouvoir forcer des coins de pressions contre les fermes au travers de ces tenons.

110. Au lieu de rendre aussi parfaitement adhérens et le comble et la voûte, on pourrait encore disposer les choses de plusieurs autres manières : ainsi, par exemple, si le cintre du berceau n'était qu'un arc de cercle de peu d'élévation, pour conserver au comble la pente nécessaire à l'écoulement des eaux, il faudrait disposer la charpente comme dans la figure 183, où l'on voit que *ab* est la pièce courbe qui fait le cintre de la voûte. L'intrados du berceau est en planches clouées en dessous des cintres ; ces planches servent en même temps de liens aux fermes cintrées successives ; *ef* est l'un des arbalétriers de la ferme du comble ; *p*, *q* les pannes, et *rs* un chevron. Les deux arbalétriers et le sommet du cintre du berceau sont réunis tous les trois par une moise horizontale *gh*, qui empêche en même temps l'écartement des naissances, et embrasse encore le bas du poinçon *ik*, dans lequel des jambes de force *lm* viennent s'assembler, lesquelles jambes de force pourraient, dans certains cas, être supprimées. Sur le mur on voit un morceau de bois *de*, qu'on

appelle *blochet*, qui pose sur deux rangs de plates-formes *n*, *o*, et sert de point d'appui à l'arbalétrier et au cintre du berceau, à l'extrémité *d* duquel vient poser une panne, entaillée en dessous, qui sert à soutenir les bouts inférieurs *r* des chevrons. La forme de ce blochet est représentée par la figure A.

111. La figure 184 présente un système à peu près semblable à celui de la figure 182, avec cette différence que sur les arbalétriers posent des pannes pour porter les chevrons, et que les morceaux de bois sont assemblés ainsi qu'il suit : le cintre *ab* est formé de morceaux de madrier d'une largeur et d'une épaisseur proportionnées à la grandeur de la voûte et à la charge du comble, assemblés à trait de Jupiter, ou composés de plusieurs épaisseurs de planches fortement clouées les unes sur les autres, comme il a été dit n°. 101, en expliquant les combles à la Philibert de Lorme, afin que ce cintre puisse être regardé comme formé d'une seule pièce; le bas de ce cintre s'assemble au moyen d'endents dans le bas d'un poteau *ac* qui pose sur une plate-forme *d*; au haut de ce poteau s'assemble à tenon et mortaise un morceau de bois *ce*, qui est coupé en sifflet par l'autre bout, de manière à pouvoir s'appuyer sur l'extrados du berceau; un autre morceau de bois *fg* s'appuie de même sur l'extrados du berceau, et s'assemble à tenon et mortaise dans le haut d'un poinçon *kl*; ces deux morceaux de bois *ec*, *fg* tiennent lieu d'arbalétriers, et leurs dessus sont sur une même ligne droite tangente à l'extrados de la voûte; enfin des moises *hi*, *mn* servent à réunir encore mieux le comble et la voûte, ainsi que les liens de fer *op*, *qr*.

112. La figure 185 présente un système qui convient au cas où le comble et la voûte seraient soutenus par des pans de bois; il pourrait aussi convenir au cas où les points d'appui seraient de gros murs. L'inspection de cette figure me paraît suffisante pour en faire concevoir la disposition.

113. Si l'on voulait écarter le comble du berceau, sans pourtant les rendre indépendans, on disposerait les choses comme on le voit indiqué dans la figure 186, où l'on voit des moises qui empêchent les angles formés par les pièces de bois de varier, et qui embrassent en même temps le cintre du berceau. Ce système, qui n'est pas très-compliqué, a une grande solidité, les moises étant bien boulonnées. La figure seule explique le système.

Toutes ces différentes espèces de fermes cintrées peuvent se faire d'après la méthode de Philibert de Lorme, ou au moyen de madriers, en proportionnant l'épaisseur à la grandeur du comble.

Des Berceaux en arcade dans un pan de bois droit.

114. EXEMPLE 1. Supposons (fig. 187) que les parallélogrammes ABCD,

EFGH soient les bases des poteaux d'huisserie de l'arcade à construire au travers d'un pan de bois droit dont les traces horizontales des faces sont les droites AG, DF. Si ces parallélogrammes sont rectangles, l'arcade sera droite, et s'ils sont obliques, l'arcade sera biaise; c'est ce dernier cas que nous supposons, ainsi qu'on le voit dans l'épure, parce qu'il nous sera facile de passer de ce cas au premier. Cela posé, voici comment on fera l'épure, et on tracera les morceaux de bois de cette arcade.

On prendra une ligne de terre KL parallèle à DF, à laquelle par les sommets des bases des poteaux d'huisserie, on élevera des perpendiculaires indéfinies au-dessus de cette ligne de terre, lesquelles perpendiculaires seront les projections verticales des arètes de ces poteaux d'huisserie. Supposons, à présent, que l'on donne, non pas le cintre principal (n°. 107) du berceau, mais le *cintre de face*, c'est-à-dire la courbe d'intersection de l'intrados avec la face DF du pan de bois, si ce cintre est une demi-circonférence de cercle, sur MN, comme diamètre, on décrira la demi-circonférence de cercle MQN. Les deux faces du pan de bois étant parallèles, sur PO = MN, comme diamètre, on décrira une seconde demi-circonférence de cercle PRO : ces deux demi-circonférences seront les projections verticales des intersections de l'intrados du berceau avec les faces du pan de bois. Cela fait, à une hauteur M*a*, ni trop grande, ni trop petite, on menera la droite *co* parallèle à la ligne de terre KL, et on fera porter aux poteaux d'huisserie les parties N*qr*O, M*ab*P de l'intrados du berceau. On menera une tangente horizontale *dn* au sommet de l'intrados et parallèlement à cette droite *dn*, on menera la droite *tu* à une distance *nu* égale à l'épaisseur qu'on voudra donner à une pièce de bois *dnuv*; laquelle portera la partie *gfoki* de l'intrados du berceau, les arcs égaux *fk*, *gi*, étant ni trop grands, ni trop petits. Enfin l'intrados sera terminé par les deux morceaux de bois *acdef*, *ronmi*, qui s'assembleront avec les poteaux d'huisserie et la pièce horizontale du sommet, ainsi qu'on le voit facilement dans l'épure. Telle peut être la conformation de la voûte; voyons comment on doit tracer les morceaux de bois qui la composent. Supposons qu'il s'agisse de tracer l'un des poteaux d'huisserie, celui dont la base est le parallélogramme EFGH.

Par les points *r* et *q*, on abaissera, à la ligne de terre KL, les perpendiculaires *rr'*, *qq'*, qui rencontreront respectivement les traces horizontales DF, AG des faces du pan de bois au points *r'*, *q'*, par lesquels on menera la droite *r'*, *q'*, qui sera parallèle à EH, et sera la projection horizontale de l'arète supérieure de la partie d'intrados portée par le poteau d'huisserie. Cela fait, on équarrira une solive sur la base *r'*FG*q'*, d'une longueur convenable; puis, à

la hauteur à laquelle doit se trouver la naissance du berceau, on tracera la section droite de cette solive sur ses quatre faces; ensuite, on tracera la figure LN*qonu* sur chacune des faces opposées de la solive, qui doivent se trouver sur celles du pan de bois, de manière que la ligne LN de cette figure LN*qnou* se trouve sur les côtés correspondans de la section droite de la solive. Après avoir taillé les faces indiquées par le contour N*qonu*, le poteau aura la forme représentée par la figure *a*, et il ne restera plus qu'à faire la mortaise *a* pour avoir terminé ce poteau.

Supposons, en second lieu, qu'il s'agisse de tracer la pièce horizontale *dnuv;* pour cela on équarrira un parallélipipède droit dont la hauteur sera *un*, et la base le parallélogramme BCEH, dont la longueur BH sera augmentée de la somme des deux tenons qui doivent entrer dans les mortaises (fig. *a*) des poteaux d'huisserie. Après avoir équarri ce parallélipipède, dans le milieu de sa longueur on tracera, sur les faces, l'intersection d'un plan vertical élevé sur la droite Q′R′; sur les faces latérales, on tracera la figure *cef*Q*klnut*, de manière que le milieu *o*, de cette figure, se trouve sur l'intersection du plan vertical élevé sur la droite Q′R′ avec les faces latérales de la pièce de bois; on taillera les faces que cette figure indiquera sur la pièce, et cette dernière prendra la forme présentée par la figure *b*. Il ne restera plus ensuite qu'à faire les tenons *a* et *b*.

Enfin, supposons qu'il s'agisse de tailler le morceau dont l'une des faces a la forme *qonlk;* pour cela, par le point *o* on abaissera la perpendiculaire *oo′* à la ligne de terre KL; par le point *o′*, où cette droite rencontre AG, on menera la droite *o′q″* parallèle à Q′R′; on équarrira un morceau de bois sur la base *k′o′q″i″*, et sur la hauteur *qp*; sur les faces opposées de ce morceau de bois qui doivent se trouver sur les faces du pan de bois, on tracera la figure *qklno*, et tout sera tracé : le morceau étant fini, il aura la forme présentée par la figure *c*. On conçoit que si le berceau était droit, tout ce que nous venons de dire aurait également lieu, et même d'une manière plus facile à exécuter.

Remarque. Le lecteur intelligent s'apercevra que pour rendre notre explication plus courte, nous avons négligé de faire remarquer qu'en équarrissant ces pièces de bois d'une manière préparatoire, il y a des faces qu'il serait inutile de faire, et que ce serait même une faute de les tailler, attendu que le travail serait entièrement perdu. Nous continuerons de simplifier nos explications, en les débarrassant des choses qu'on peut sous-entendre, parce que dans un ouvrage de la nature de celui-ci il faut, en effet, savoir se taire dès qu'on peut supposer qu'un lecteur intelligent pourra suppléer à ce qu'on ne

dit pas ; autrement les explications deviennent d'une longueur insoutenable ; et par là même d'une grande obscurité.

115. EXEMPLE 2. Supposons, comme dans l'exemple précédent, que les parallélogrammes ABCD, EFGH (fig. 188) soient les bases des poteaux d'huisserie de l'arcade, ces poteaux ne s'élevant ici que jusqu'à la naissance KL de la voûte ; supposons de plus, que l'arcade soit extradossée parallèlement à l'intrados, et que le cintre de face soit une demi-circonférence de cercle.

Cela posé, par les sommets des bases des poteaux d'huisserie, on élèvera des perpendiculaires à la ligne de naissance KL, parallèle à DF, qui se termineront à cette ligne de naissance ; sur les diamètres MN, PO, QL et KR, on décrira les demi-circonférences MzN, P*y*O, Q*b*L et K*b*R, qui seront les cintres de face du berceau. Pour former ce berceau, on divisera le cintre de face MzN en un nombre pair de parties égales, en quatre, par exemple ; par les points de division correspondans *i* et *q*, on menera la droite *mo*, qui sera parallèle à KL ; par les points N et *q*, on menera la droite N*qs* ; parallèlement à *qs*, on menera *ot* à une distance de quatre à cinq centimètres ; on en fera autant du côté du point *i*, et par les points *t* et *k* on menera la droite *tl*, qui sera parallèle à la naissance KL. On fera la même chose sur la face O*y*PK*b*R, et on marquera sur chaque face la clef S, T : on aura la projection verticale de deux joints à traits de Jupiter. La partie *qrymi* de l'intrados du berceau sera formée de deux morceaux, qui s'assembleront l'un à l'autre à demi-épaisseur au sommet de la voûte, et avec les premiers morceaux à traits de Jupiter. Pour avoir la forme du joint au sommet de la voûte, par le point *q* et le milieu *z* du cintre MzN, on menera la droite *za* ; on fera *za* de la longueur qu'on jugera convenable, et par le point *a*, on élevera la verticale *ab*. Sur la face opposée P*y*OR*b*K, par le point *m* et le milieu *y'* du cintre P*y'*O, on menera la droite *y'f*, on fera *y'f* = *za*, on élevera la verticale *fe*, et on continuera les deux joints l'un vers l'autre jusqu'à demi-épaisseur du pan de bois, ainsi que le contour *a'g'c'e'* l'indique en projection horizontale.

Voici maintenant comment on tracera les morceaux de bois.

Supposons qu'il s'agisse du morceau de naissance à droite ; on commencera par mener la tangente *uv*, à l'arc *uv*, parallèlement à la droite N*qs* ; par le point *v* où cette tangente *vu* rencontrera la ligne de terre KL, on abaissera, à cette dernière droite, la perpendiculaire *vv'* ; par le point *v'* où cette perpendiculaire rencontrera la trace horizontale AG de la face antérieure du pan de bois, on menera la droite *v'*F' parallèle à HE, et ensuite on équarrira un parallélipipède oblique *abcdefgh* (fig. *d*) dont la base *abcd* sera égale au

parallélogramme HdF'E (fig. 188), et les faces latérales opposées *abgh*, *dcfe* (fig. *d*) seront égales au parallélogramme N*vus* (fig. 188). Cela fait, sur ces mêmes faces latérales opposées de ce parallélipipède, on tracera les figures *amlkihop*, *dvutserq* (fig. *d*), chacune égale à la figure N*qo*SU*st*L (fig. 188), au moyen d'un panneau ; on profilera la pièce de bois d'après ces deux contours égaux, et on aura la forme qu'indique la figure *d*. Ce morceau s'assemblera sur la tête du poteau d'huisserie, à tenon et mortaise, la mortaise étant pratiquée dans le joint *abcd* du morceau de naissance de la voûte.

Pour tracer le morceau *ro*S'U'*sthgyr* (fig. 188), qui vient à la suite, on fera les deux faces planes *abcdl*, *ifgh* (fig. *e*), parallèles entre elles, et à une distance égale à l'épaisseur du pan de bois; on fera la face *alfi* de manière à former, avec la face *abcdl*, un angle égal à GHE (fig. 188), et de manière aussi que l'angle *bkl* (fig. *e*) soit égal à *qab* (fig. 188). Cela fait, sur cette face *abfi*, on mènera la droite *lf* d'équerre à l'arète *al*; puis, on levera un panneau sur la figure *qzabts*U'S'*o* (fig. 188), que l'on appliquera sur les faces opposées *abcdl*, *ifgh* (fig. *e*), de manière que le bord *ab* du panneau coïncide successivement avec les arètes *la*, *fi*, le sommet *b* de ce même panneau coïncidant successivement avec les points *l* et *f*; au moyen de ce panneau, on tracera les profils *bcvutdlka'*, *h'hxx'ygfi'e*, suivant les contours desquels on taillera la pièce, et il ne restera plus à faire que l'entaille *onms*...., à demi-épaisseur.

13me. LEÇON.

Berceau pratiqué au travers d'un pan de bois en talus, ou d'un comble plan.

116. Supposons que la figure ABCD (fig. 189) soit le profil ou section droite d'un comble plan, et AEFG celui d'un pan de bois formant attique au pied du comble, et que l'on veuille faire une arcade qui traverse obliquement et le pan de bois et le comble.

Soient HIKL, MNOP les sections horizontales faites par le plan de naissance de l'arcade (lequel se trouve au niveau DA du bas du comble) dans les poteaux d'huisserie, qui sont supposés descendre verticalement dans le pan de bois en contre-bas du pied du comble; prenons la ligne de terre QR parallèle aux traces horizontales LN, HO des faces du pan de bois qui soutient

le comble, et supposons-la au niveau de la naissance du berceau; enfin, supposons que l'arcade doive être extradossée parallèlement à l'intrados, et décrivons les projections verticales U*g*X, S*h*R, TzV et Q*z*'Y des cintres de face de l'arcade pratiquée dans le pan de bois; cela posé, voici comment on tracera l'épure de la pénétration du comble par l'arcade.

Les lignes de terre QR, AD' étant perpendiculaires entre elles, on les prolongera indéfiniment l'une vers l'autre, de manière à former l'angle droit $D^3D'D^2$; on prendra ensuite des points à volonté *b*, *g*, *a*, *c*, *f*, *h*, *e* et *d*, etc. sur les cintres de face U*g*X, S*h*R, qui sont situés sur la face du pan de bois dont la droite HO est la trace horizontale; par ces points *b*, *g*, *a*, etc., on abaissera les perpendiculaires bb', gg^7, ad^3, cc', ff', ee^9 et dd^4, et on menera les parallèles $cbada'$, gg', fee' et hD^3 à la ligne de terre QD'. Les premières droites bb', gg^7, ad^3, etc. rencontreront la droite HO en des points par lesquels on menera les droites $c'a^9$, $b'a^8$, $f'e^6$, g^7h^3, e^9e^5, d^3a^7, d^4a^6, parallèles à la projection horizontale KI d'un des tableaux des poteaux d'huisserie; les secondes droites $cbada'$, gg', etc. rencontreront le prolongement $D'D^3$ de la seconde ligne de terre AD' (perpendiculaire à la première) en des points a', g', e' et D^3 qui seront les extrémités des rayons des quarts de cercle $a'a^2$, $g'g^2$, $e'e^2$, D^3D^2, décrits du point D' comme centre. Par les extrémités a^2, g^2, e^2 et D^2 de ces quarts de cercle, on menera les droites a^2a^5, g^2g^4, e^2e^4 et D^2h^2, parallèles à la ligne de terre AD^3. Par les points où ces dernières droites rencontreront la projection verticale DC de la face supérieure du comble plan, on abaissera à la ligne de terre AD' les perpendiculaires a^4d^4, g^3g^6, e^3e^8 et $h'h^4$, lesquelles rencontreront les parallèles à IK qui leur correspondent en des points par lesquels, et les points i' et i, k' et k, on fera passer à la main les courbes $i'd^3g^6d^2i$, $k'd^4e^8h^4e^7d'k$, qui seront, l'une la projection horizontale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face supérieure du comble plan, et l'autre celle de l'intersection de l'extrados avec la même face du comble. On voit dans l'épure la manière de décrire les projections horizontales $Ia^8g^5a^7P$, $Ha^9e^6h^3e^5a^6O$ des intersections de l'intrados et de l'extrados du berceau avec la face inférieure du comble, face dont la projection verticale est la droite AB.

Si les cintres U*g*X, S*h*R sont des demi-circonférences de cercle ou des demi-ellipses, les projections horizontales $i'g^6i$, $k'h^4k$, etc. des intersections des intrados et extrados du berceau avec les faces du comble seront des demi-ellipses rapportées à leurs diamètres conjugués, puisque ces intersections sont celles de deux cylindres à base circulaire ou elliptique coupés par des plans. (voyez le n°. 128 de la géométrie à trois dimensions). Les demi-diamètres conjugués de ces projections horizontales sont, 1°. Tg^6 et Ti' ou Ti,

pour celle $i'g^6i$; 2°. Th^4, Tk' ou Tk, pour celle $k'h^4k$; 3°. gg^5, g^7I ou g^7P, pour celle Ig^5P, et 4°. g^7h^3, g^7H ou g^7O, pour celle Hh^3O. On remarquera de plus que $Tg^6 = g^7g^5$; que $Ti' = Ti = g^7I = g^7P$; que $Tk' = Tk = g^7H = g^7O$, et que $Th^4 = g^7h^3$. Ainsi, il sera facile, si l'on veut, de décrire directement ces quatre demi-ellipses, par l'un des procédés donnés aux numéros 612 et 561 de la géométrie plane, après avoir obtenu les diamètres conjugués de chacune d'elles, comme on le voit dans l'épure, ce qui a été expliqué implicitement dans le procédé général que nous venons de donner pour décrire les mêmes courbes.

Maintenant, pour pouvoir tracer les morceaux de bois de la partie d'arcade qui rencontre le comble, il nous faut avoir la projection des quatre arêtes d'intersection du berceau avec les faces du comble, sur un plan parallèle à la pente de ce dernier.

Pour cela, on prendra la droite Dk' pour ligne de rabattement, dont la projection verticale est le point D. Ensuite, de tous les points A, a^5, g^4, e^4 et h^2, on menera les perpendiculaires Av, a^5v^2, g^4v^4, e^4x et h^2y, à la pente DC du comble, et par le point D, comme centre, on décrira tous les arcs de cercle qu'on voit dans l'épure, que l'on terminera à la droite DD'; par les extrémités v', u^5, v^6, v^7, etc., de tous ces arcs de cercle, on menera des parallèles à la droite Dk', et les distances, par rapport à la droite Dk', de toutes ces dernières droites, seront les grandeurs des ordonnées des courbes demandées $i'pi$, $I'nP'$, $H'mO'$ et $k'r'k$.

Pour avoir enfin différens points de ces mêmes courbes, par ceux qui ont servi à décrire leurs projections horizontales, on élevera des perpendiculaires à la droite Dk', lesquelles rencontreront les parallèles à Dk' qui leur sont correspondantes en des points par lesquelles, comme on le voit dans l'épure, on fera passer à la main les courbes demandées, dont l'ensemble donnera les panneaux nécessaires pour tracer les morceaux de bois qui doivent former l'arcade dans le comble.

Les quatre courbes qui forment ces panneaux étant des demi-ellipses rapportées à leurs diamètres conjugués, lorsque les cintres de face sur les faces du pan de bois sont des demi-circonférences de cercle ou des demi-ellipses, on pourra décrire ces quatre courbes par l'une des méthodes rappelées précédemment, après avoir déterminé leurs demi-diamètres conjugués, qui sont 1°. $i'T$ ou Ti et Tp, pour la courbe $i'pi$; 2°. Tk' ou Tk et To, pour la courbe $k'ok$; 3°. TI' ou TP' et Tn, pour la demi-ellipse $I'nP'$, et 4°. TH' ou TO' et Tm pour celle $H'mO'$.

Avant de donner la manière de tracer les morceaux de bois, il est néces-

saire de faire concevoir de quelle manière nous supposons qu'ils sont ici assemblés les uns aux autres.

Nous supposons que le berceau se compose de deux parties, dont une est comprise dans l'épaisseur du pan de bois qui forme attique, et l'autre dans l'épaisseur du comble. Chacune de ces parties est une espèce de ferme cintrée, composée de trois morceaux de bois assemblés par des entailles à demi-épaisseur. Ces entailles sont indiquées dans la projection verticale Q*h*R de la ferme cintrée comprise dans le pan de bois, par les droites *cb*, *ad*, *bz'*, et *ae*. La forme du morceau du sommet de la partie du berceau comprise dans l'épaisseur du comble est représentée en perspective par la figure *b*, et par la figure $d^4d^3g^6d^2d^1m^3m^4e^5e^6m^5m^6m^7m^5$, en projection horizontale. La figure *a* représente le morceau de naissance à droite, toujours de la partie du berceau comprise dans l'épaisseur du comble.

Supposons maintenant qu'on veuille tracer le morceau de naissance à gauche, dont le rabattement est la figure P'*u'*S'*t'q'tO'*.

Pour cela, on circonscrira un rectangle $M'M^2M^3M^4$, au rabattement du morceau en question, qui donnera la plus grande longueur et la plus grande largeur du morceau de bois, dont l'épaisseur sera celle du comble plan. On taillera ce morceau de bois sous la forme d'un parallélipipède rectangle, ayant ces dimensions, en ne se donnant la peine de bien faire que les deux faces parallèles qui doivent coïncider avec celles du comble plan. Soit *abcdefgh* (fig. *a*) ce parallélipipède; les faces opposées *abgf*, *dche* étant celles qui doivent se trouver sur celles du comble. Cela fait, on tracera sur ces deux faces les figures *fikglmn*, *eophqrs*, au moyen d'un panneau qui aura la forme M'*i'u'*S'M^4*q'tO'* (fig. 189), en ayant soin que les points *i* et *o* (fig. *a*) soient sur une même perpendiculaire *io* à la face plane *abgf*. Puis, on fera un second panneau qui aura la forme P'O'*tq't'*P' (fig. 189), dont le bord O'*tq'* devra être mis en coïncidence avec la courbe *nml* (fig. *a*), avec lequel on tracera la figure *nmlut* sur la face *abgf* du morceau de bois; on fera enfin un troisième panneau qui aura la forme *u'*S'*r'*S*u'* (fig. 189), dont le bord *u'*S' sera mis en coïncidence avec la courbe *pvo*, sur la face *dche* du morceau de bois, pour tracer sur cette face *dche*, la figure *zp'v'vpz*. Cela fait, on fera passer une surface cylindrique, suivant les deux courbes *tu*, *op*, et une autre surface cylindrique par les deux courbes *nml*, *zp'v'*; on fera passer un plan par les droites *ul*, *pz*, et un autre par les droites *tn*, *vv'*, en observant de laisser un endent *tyx*, qui viendra reposer contre la face de l'arcade située dans le pan de bois, comme on le voit indiqué en Au^4 dans la projection verticale dont

la ligne de terre est AD'. On fera ensuite l'entaille $pg^3g'g^2p'p$ à demi-épaisseur, et le morceau de naissance sera fini.

On tracerait l'autre morceau de naissance, et celui du sommet de l'arcade par un procédé semblable.

On doit remarquer que beaucoup des difficultés de cette arcade disparaîtraient, si les génératrices de l'intrados étaient perpendiculaires aux faces du pan de bois formant attique; car, dans ce cas, les arètes d'intersection de l'intrados et de l'extrados, avec les faces du comble, seraient des ellipses rapportées à leurs axes, ce qui rendrait le rabattement plus facile à obtenir.

Berceau pratiqué au travers d'un comble gauche.

117. Supposons que les droites AB, CD (fig. 190) soient les intersections des deux faces du comble gauche, avec le plan horizontal, mené au niveau des naissances du berceau; et que les rectangles EFGH, MLKI soient les projections horizontales des sections faites dans les poteaux d'huisserie par le même plan horizontal; soient NOP, QRS les projections verticales des cintres de l'intrados et de l'extrados du berceau; soient, enfin, BUVD, AXYC, les rabattemens des sections faites dans le comble gauche par des plans verticaux élevés respectivement sur les droites BD, AC (les lignes BU et DV, AX et CY étant droites ou courbes) et les surfaces gauches du comble étant engendrées par une ligne droite, qui, restant toujours de niveau, glisserait sur les directrices dont les rabattemens sont les lignes BU et AX, DV et CY. Cela posé, voici comment on tracera l'épure de ce berceau :

On prendra des points à volonté sur les deux cintres, tels que *a*, O, *b*, et *c*, R, *d*, etc. Par ces points, on abaissera les perpendiculaires indéfinies aa^2, bb',..... cc^2; dd'......; parallèlement aux droites BD, AC et respectivement aux distances des points *a*, O, *b*,....... *c*, R, *d*......, par rapport à la ligne de naissance QS, on menera des droites qui couperont les lignes BU, DV, AX et CY en des points *l*, *n*, *o*, U,......., *e*, *g*, *k*, X,..... par lesquels on abaissera les perpendiculaires *lp*, *nq*, *or*, U*s*,......, *ef*, *gh*, *ki*, X*m*..... respectivement sur les droites BD, AC; on joindra, comme on le voit dans l'épure, les pieds correspondans de ces perpendiculaires par les droites *fp*, *hq*, *ir*, *ms*,....., qui seront les projections horizontales d'autant de génératrices des surfaces gauches, et rencontreront les droites aa^2, RR^2, bb', cc^2 dd', respectivement en des points a', O', b',...... c', R', d'......., par lesquels et les points F et M, E et L, G et I, H et K, on fera passer les courbes FO'M, ER'L, GO^2I et HR^2K, qui seront les projections horizontales des intersections de l'in-

trados et de l'extrados du berceau avec les surfaces du comble gauche.

Supposons, maintenant, que le berceau se compose de trois morceaux QN*ac*, *abdc*, PS*db*, de même largeur, réunis par des joints plans *ac*, *bd*, normaux à l'intrados. Pour empêcher ces joints ou coupes de glisser l'un sur l'autre, on reliera les morceaux par des clefs ou goujons de bois. D'après cela, les morceaux de bois composant le berceau, se traceront et se tailleront de la même manière que les voussoirs d'un berceau en pierres de taille, et seront réunis avec toute la solidité nécessaire. On disposera les fibres du bois dans la direction des génératrices du berceau, ou parallèlement aux cordes des arcs P*b*, *ab*, N*a*, suivant que les circonstances l'exigeront.

Pour tracer ces morceaux de bois, on levera un paneau qui aura la forme N*ac*Q, au moyen duquel ou équarrira un morceau qui aura la longueur c^3c^4 pour le premier morceau à gauche. Soit *abcdefgh* ce morceau (fig. *a*), le joint *bgfc* devant être celui qui posera sur la tête du poteau d'huisserie EFGH; il ne restera plus qu'à tracer les deux faces gauches, ce qu'on fera de la manière suivante :

Sur les arcs N*a*, Q*c*, on prendra des points intermédiaires N′, Q′, par lesquels on abaissera les perpendiculaires $N'N^4$, $Q'Q^4$ à la ligne de terre QS; on fixera les points *l* et *n* sur les arêtes *fe*, *gh* (fig. *a*), de manière que les arcs *fl*, *gn* soient respectivement égaux aux arcs NN′ QQ′ (fig. 190), et par les point *l* et *n* (fig. *a*), on menera les génératrices *li*, *np*. Cela fait, on fera les longueurs *fk*, *gt* respectivement égales à FG, EH (fig. 190); celles *lm*, *li* (fig. *a*) respectivement égales à N^2N^3 et N^2N^4 (fig. 190); celles *no*, *np* (fig. *a*) respectivement égales à Q^3Q^4, Q^3Q^2 (fig. 190); celles *eu*, *eq* (fig. *a*) respectivement égales à a^3a', a^3a^2 (fig. 190), et enfin celles *hv*, *ha* (fig. *a*) respectivement égales à c^3c', c^3c^2 (fig. 190). On réunira ensuite sur le morceau de bois les points *f*, *m*, *u*; *k*, *i*, *q*; *g*, *o*, *v*, et *t*, *p*, *a*, par des courbes qui seront les intersections des surfaces gauches avec les faces cylindriques du morceau de bois. On taillera donc ces faces gauches suivant ces courbes, et après avoir fait les mortaises dans les coupes pour recevoir les clefs ou goujons, le morceau en question sera terminé. On tracerait et on taillerait les autres morceaux de la même manière.

Berceau pratiqué dans un pan de bois cylindrique droit.

118. Supposons que les courbes AB, CD (fig. 191) soient les traces horizontales des faces du pan de bois cylindrique droit, au travers duquel on veut pratiquer un ber eau dont le cintre d'intrados est la courbe KLM, et

les projections horizontales des piédroits les figures AEFC, GBDH; cela posé, on voit par la projection verticale que le poteau d'huisserie s'élève au-dessus de la naissance du berceau, de sorte qu'il fait partie de l'intrados. Dans ce poteau vient s'assembler à tenon et mortaise une pièce horizontale dont la moitié de la projection verticale est QRSLOP. Si le berceau est petit, on pourra faire cette pièce horizontale d'un seul morceau, allant d'un poteau d'huisserie à l'autre; mais le plus souvent il faudra la faire de deux morceaux assemblés l'un à l'autre à trait de Jupiter au sommet du berceau, ainsi qu'on le voit indiqué en projection horizontale, non parce que cette pièce serait trop longue en un seul morceau, mais parce qu'elle pourrait avoir une largeur qui dépasserait les grosseurs ordinaires des bois, et que d'ailleurs les fibres du bois seraient tranchées de manière à compromettre la solidité, à cause de la courbure du pan de bois. Enfin pour continuer l'intrados entre les points T et S, on logera un morceau de bois de la forme TSRQU, entre le poteau d'huisserie et la pièce horizontale dont il vient d'être question.

Rien n'est plus facile que de tracer les morceaux de bois de ce berceau. En effet, pour tracer le morceau QRSLOP de la pièce horizontale, on levera un panneau de projection horizontale, qui aura la forme F*klmnop*E*qrst*, au moyen duquel on taillera un morceau de bois cylindrique droit, dont la hauteur sera la distance du point S à l'horizontale PO. Ce morceau aura la forme représentée par la figure *b*. Pour le terminer, on fera les distances *ae*, *cf* (fig. *b*) respectivement égales à celles FR^2, ER' (fig. 191); par les points *e* et *f*, on menera les génératrices *eh*, *fk* (fig. *b*); on fera ensuite les hauteurs *ab*, *eg*, *cd*, *fi* (fig. *b*) toutes égales à PQ (fig. 191); avec une règle flexible on tracera les arcs de cercle *bg*, *de* (fig. *b*); on fera de plus les longueurs *lm*, *no*, *pq*, *rs*, *tu* et *vx* (fig. *b*) respectivement égales à k^2k' l^2l', OL; n^2n', o^2o' et p^2p' (fig. 191); par la droite *hk* et les points *m*, *o*, *q*, *s*, *u* et *x* on fera passer une surface cylindrique, avec une cerce levée sur le cintre KLM, et le morceau sera terminé.

Pour tracer le morceau dont la projection verticale est TSRQU (fig. 191); on fera un panneau de projection horizontale qui aura la forme $U'R'R^2U^2$, au moyen duquel on taillera un morceau de bois cylindrique droit, dont la hauteur sera celle comprise entre les droites QR et UT, et dont la forme sera *abcdefgh* (fig. *d*). Cela fait, on menera la droite *ik* parallèle à *ad*, et à une distance égale à UT (fig. 191); on menera ensuite la droite *ml* parallèle à *gh* (fig. *d*), et à une distance égale à RS; puis, avec une cerce levée sur le cintre KLM (fig. 191), pour génératrice, on taillera une surface cylindrique *imlk* (fig. *d*), qui passe par les arètes *ik* *ml*, qui sera la *douëlle* du

morceau. Enfin, on menera la droite *no* parallèle à *gh*, et à une distance égale à RQ (fig. 191), et on fera passer un plan par cette droite *no* (fig. *d*) et l'arète *ad*, et le morceau sera tracé.

Quant au poteau d'huisserie représenté par la figure *c*, qui porte la douëlle KT (fig 191), je laisserai au lecteur le plaisir de trouver lui-même la manière de le faire, et je me contenterai de lui dire seulement de commencer par tailler une solive à deux faces cylindriques droites, au moyen du panneau CC'A'A (fig. 191), et de tracer ensuite la section droite *abcd* (fig. *c*) de cette solive, au niveau de la naissance du berceau, à partir de laquelle il portera toutes les hauteurs pour tracer la douëlle *efgh*, l'entaille *fiklmg*, et la mortaise *nopqrs*, dans laquelle la pièce horizontale du sommet du berceau doit s'assembler à tenon. Les saillies et les renfoncemens seront pris en projection horizontale, suivant les traces des faces cylindriques.

119. Dans le cas où l'on voudrait construire le berceau comme l'indique la figure 192, après avoir divisé le cintre KLM en autant de parties égales que l'on voudra mettre de voussoirs pour former le berceau, on menera, par les points de division *a*, *i*, des normales *ab*, *ih* au cintre KLM. On prendra en outre des points intermédiaires *d*, *g*, par lesquels on menera d'autres normales *dc*, *gf* au même cintre; cela fait, par les points où toutes ces nomales rencontreront les cintres d'intrados et d'extrados, on abaissera des perpendiculaires *fk*, *gm*, *ho*, *ir*, *at*, *bv*, *dy* et *cz'* à la ligne de terre VN, et les portions de ces perpendiculaires comprises entre les traces horizontales AB, CD des faces du pan de bois cylindrique seront les projections horizontales d'autant de génératrices des surfaces d'intrados et d'extrados.

Maintenant, supposons qu'on veuille faire le morceau dont la projection verticale est la figure M*ab*N; pour économiser le bois et le prendre le plus convenablement par rapport au sens des fibres, dans la projection horizontale *t*DB*s*, on menera la corde *t*D, et la tangente *s'c'* à la trace AB, parallèlement à la corde *t*D; on supposera des plans verticaux élevés sur les droites *t*D, *s'c'*, et on déterminera les intersections de ces plans avec les surfaces d'intrados et d'extrados du berceau, en s'y prenant comme il suit:

Par les points *t*, *v*, *y*, *z'* où les projections horizontales des génératrices des surfaces d'intrados et d'extrados correspondantes aux points *a*, *d*, *b* et *c* viennent rencontrer la droite *t*D, on élevera à cette dernière les perpendiculaires *tt'*, *vv'*, *yy'* et *z'z''*; on fera $tt' = a'a$, $yy' = d'd$, $vv' = b'b$, et $z'z'' = c'c$; par les points *t'y'* et H', on fera passer la courbe *t'y'*H' à la main; par les points *v'*, *z''* et D on fera passer l'autre courbe *v'z''*D; on menera la droite *t'v'*,

et la figure H′t′v′D sera un panneau qui servira à donner au morceau de bois la courbure du cintre d'intrados et d'extrados.

Outre ce panneau, qu'on appelle *panneau de tête*, il en faut encore deux; l'un pour être appliqué dans l'intrados du voussoir, et l'autre sur l'extrados. Ces deux panneaux serviront à donner au morceau de bois les courbures des faces du pan de bois cylindrique.

Pour obtenir ces panneaux, on menera une droite AB perpendiculaire à la projection horizontale II′ de l'axe du berceau, à laquelle nous donnerons le nom de *directrice*. On menera ensuite une droite quelconque AB (fig. *a*), sur laquelle on étendra la longueur de l'arc K*gi*, et celle de l'arc V*fh*, à partir du point B (fig. *a*); la longueur du premier K*gi* (fig. 192) sera BE (fig. *a*), et celle du second V*fh* (fig. 192) sera AB (fig. *a*). Par le milieu *c* (fig. *a*) de BE, on élevera la perpendiculaire *eg* à AB, et par le milieu D de BA, on élevera une autre perpendiculaire *kl* à AB. Cela fait, on fera les longueurs B*a*, C*e*, et E*k* (fig. *a*) respectivement égales à P*q*, R*n*, et SE (fig. 192), et on joindra les points *a*, *e*, et *k* (fig. *a*) par une courbe à la main; on fera les longueurs B*c*, C*g*, et E*l* respectivement égales à P*r*, R*m*, et SF (fig. 192); on joindra les points *c*, *g* et *l* (fig. *a*) par la courbe *cgl*, et la figure *aklc* sera le panneau d'intrados ou de douëlle. Pour achever celui d'extrados, on fera les longueurs B*b*, D*h* (fig. *a*) respectivement égales à Q*p*, T*l* (fig. 192), et par les points *b*, *h* et A (fig. *a*) on fera passer la courbe *bh*A; on fera de plus les longueurs B*d*, D*i* et A*m* (fig. *a*) respectivement égales à Q*o*, T*k* et AC (fig. 192); par les points *d*, *i* et *m* (fig. *a*) on fera passer la courbe *dim*, et la figure *dm*A*b* sera le panneau d'extrados demandé.

Actuellement nous pouvons tracer et tailler un des morceaux de naissance, puisque nous avons tous les panneaux nécessaires pour cela. Les panneaux d'intrados et d'extrados que nous venons de tracer peuvent servir pour le morceau de droite aussi bien que pour celui de gauche, attendu que le berceau traverse symétriquement le pan de bois cylindrique. Si cette symétrie n'avait pas lieu, on trouverait les panneaux du morceau à droite par le même moyen.

Pour tracer le voussoir, il faudra débiter un morceau de bois en forme de parallélipipède oblique tronqué, dont la base soit le parallélogramme H′G*e*′*e*″, et les faces correspondantes aux côtés H′*e*″, G*e*′ soient égales au quadrilatère H′*e*′′*e*‴*t*′, ces faces étant d'ailleurs d'équerre à la base. Soit la figure *abcdefgh* (fig. *b*) ce parallélipipède oblique tronqué. Sur les faces opposées *abgf*, *dche*, on appliquera le panneau de tête H′t′v′D (fig. 192), au moyen duquel on tracera les courbures de l'intrados et de l'extrados, et on taillera ces deux parties cylindriques du morceau. Cela fait, avec du carton,

ou mieux encore, avec de la tôle mince, on fera les panneaux d'intrados et d'extrados *aklc*, *bAmd* (fig. *a*), qu'on appliquera convenablement dans l'intrados et sur l'extrados du morceau de bois en question, en les faisant fléchir de manière à ce qu'ils touchent le bois partout sur la douëlle et l'extrados; au moyen de ces deux panneaux on tracera les courbes d'intersection des faces cylindriques du pan de bois avec celles du berceau, suivant lesquelles courbes on taillera les têtes cylindriques du voussoir, qui sera terminé, une fois ces faces faites. On tracerait et on taillerait les autres morceaux du berceau par une méthode semblable. On réunira tous ces morceaux au moyen de clefs perdues dans les joints, et bien chevillés, ainsi qu'on le voit indiqué en lignes ponctuées dans la projection verticale.

Berceau pratiqué dans un comble conique droit.

120. Soient AB, CD (fig. 193) les traces horizontales des faces du mur cylindrique droit sur lequel le comble conique est établi, et supposons que l'on veuille faire un attique en arcades, tant pour éclairer l'intérieur, que pour cacher la naissance du comble. Prenons une ligne de terre KL perpendiculaire à l'axe VI du berceau, que nous supposons passer par le centre V des traces horizontales du mur cylindrique, et décrivons le cintre MPN d'intrados, et celui KOL d'extrados; par les points M, N, K, et L abaissons, des perpendiculaires KC, MG, NH et LD à la ligne de terre, et les figures AEGC, FBDH seront les piédroits de l'arcade; soit ensuite la ligne de terre O'Q' perpendiculaire à la première KL, et supposons que les droites RS, TU soient les projections verticales des génératrices des faces du comble, dont la projection horizontale commune est la droite V*e*. Cela posé, voici comment on aura les projections des intersections de l'intrados et de l'extrados du berceau avec la face intérieure du comble.

On commencera par diviser l'intrados du berceau en autant de parties égales qu'on voudra (en observant qu'il y ait des points de division aux endroits *q*, *a* où l'on veut avoir les joints des morceaux de bois qui doivent former le berceau); par tous ces points de division, on menera des normales *ts*, *qr*, *ac*, *bd*,.... à l'intrados; puis par les extrémités de ces normales, on abaissera à la ligne de terre KL, les perpendiculaires indéfinies sh', tg', rk', qi', ai', ck', bg', et dh', et on menera, à cette même ligne de terre, les parallèles OO', PP', aa', bb', dd' et cc'; par le point Q où les deux lignes de terre se rencontrent, comme centre, on décrira les quarts de cercle $O'O^2$, $c'c^2$, $P'P^2$, $a'a^2$ $d'd^2$, et $b'b^2$; par les points O^2, c^2, P^2, etc., on menera les droites O^2O^4,

c^2c^4, P^2P^4, etc., parallèles à la ligne de terre O′Q′; par les points où ces dernières droites viendront rencontrer la projection verticale TU de la génératrice de la face intérieure du comble, dont la projection horizontale est V*f*, on abaissera les perpendiculaires O^4l, c^3k, P^4l', a^4i, d^3h et b^4g; par le centre V, on décrira les arcs de cercle k^2kk', i^2ii', h^2hh', et g^2gg', lesquels viendront respectivement rencontrer les perpendiculaires abaissées, à la ligne de terre KL, par les points de division des deux cintres du berceau, en des points par lesquels on fera passer les courbes $Ch^2k^2lk'h'$D, $Gg^2i^2l'i'g'$H, qui seront les projections horizontales des intersections de l'extrados et de l'intrados du berceau avec la face intérieure du comble.

Si l'on voulait avoir les projections verticales $D'd^4c^4O^4$, $H'b^5a^5P^4$ des mêmes courbes, par les points D, *h*′, *k*′, et H, *g*′, *i*′ de leurs projections horizontales, on éleverait des perpendiculaires à la ligne de terre O′Q′ qui iraient respectivement rencontrer les droites Q′O′, d^4d^2, c^4c^2, b^5b^2, a^5a^2, en des points par lesquels et les points O^4 et P^4 on ferait passer les courbes $D'd^4c^4O^4$, $H'b^5a^5P^4$ demandées.

Si l'on voulait avoir les projections verticales $F'b^3a^3P^3$, $B'p^2o'O^3$ des cintres de face situés sur la face convexe du pan de bois, on n'aurait qu'à élever des perpendiculaires à la ligne de terre Q′O′, par les points F, *n*, *m*, *e*, et B, *p*, *o*, qui viendraient respectivement rencontrer les droites b^5b^2, a^5a^2, P^4P^2, et d^4d^2, c^4c^2, O^4O^2, aux points qu'on voit, par lesquels on ferait passer les courbes demandées. Mais toutes ces projections verticales sont inutiles au tracé des morceaux de bois.

Quoique la projection horizontale $Ah^3i^3h^4$B de l'intersection de l'extrados du berceau avec la face extérieure du comble ne soit pas indispensable, il n'est pas inutile de l'obtenir, afin de connaître plus précisément le lieu où les morceaux de bois du comble viennent s'assembler sur l'extrados du berceau. Pour l'avoir, on opérera sur la génératrice RS, comme nous venons de l'expliquer sur la génératrice TU, pour avoir celle de l'intersection du même extrados avec la face intérieure du comble; on aura aussi, si l'on veut, la projection verticale Td^5O^5 de la même intersection, de la manière qui est dite ci-dessus, et l'épure sera complète.

Cependant, comme les intersections des joints *ac*, *qr* des morceaux du berceau avec la face intérieure du comble sont des courbes, il faut encore en avoir les projections horizontales, pour pouvoir tracer ces morceaux. Pour cela, on prendra un point *u*′, *v*′, sur chaque joint, par lequel on abaissera les perpendiculaires *u*′*u*, *v*′*v* à la ligne de terre KL, et la parallèle *u*′P′ à cette ligne de terre KL; par le point Q comme centre, on décrira le quart de cercle $P'P''$;

par le point P' on menera la parallèle P'P'u' à la ligne de terre Q'O'; par le point P' on abaissera, à la ligne de terre Q'O', la perpendiculaire P'l'; par le point V comme centre, on décrira l'arc de cercle vl'u, qui rencontrera les droites c'v, u'u aux points v et u, par lesquels et les points i', k', i', k' on fera passer les courbes i'vk', i'uk', qui seront celles qu'on demandait.

Pour tailler les morceaux de bois de ce berceau, pour le premier à droite, par exemple, on levera un panneau de tête qui aura la forme NacL, au moyen duquel on taillera un morceau de bois qui aura la forme *abcdefgh* (fig. *c*), et une longueur *ch* égale à la plus grande longueur *p'h'* (fig. 193) de la projection horizontale du morceau à faire. Cela fait, on tracera sur les milieux de la douëlle et de l'extrados du morceau, les génératrices *ik*, *lm* (fig. *c*); sur les coupes on menera les droites *no*, *pq*, parallèles aux arètes *ch*, *de*, et à des distances respectivement égales à *au'*, NN' (fig. 193); puis, on fera les distances *is*, *er*, *py'*, *ff'*, *lt* et *gu* (fig. *c*), respectivement égales aux distances *n'n*, *n'*F, *p'p*, L'B, *p'p*, *c'o*, et *u'u'* (fig. 193), et par les points *h*, *s*, *r*, *y'*, *f'*, *t*, *u*, *n'* et *h*, on fera passer à la main les courbes *hsr*, *ry'f'*, *f'tu* et *un'h* (fig. *c*), suivant lesquelles on taillera la tête du morceau qui doit faire face sur la face convexe du mur cylindrique. On fera ensuite les distances *hv*, *ix*, *cy*, *pq'*, *fz*, *lm*, *gb'*, *no'*, respectivement égales aux distances *mi'*, *n'g'*, *n'*H, *p'h'*, L'D, *p'h'*, *c'k'*, et *u'u* (fig. 193), et par les points *v*, *x*, *y*, *q'*, *z*, *m*, *b'*, *o'* et *v*, on fera passer les courbes *vxy*, *yq'z*, *zmb'*, *b'o'v*, et le morceau en question sera tracé. On tracerait les autres de la même manière.

Si pour former les voussoirs de ce berceau on n'avait pas de morceaux de bois d'un assez fort équarissage, on en pourrait assembler plusieurs ensemble, qu'on réunirait au moyen de bonnes chevilles de bois, etc., de manière à former un bloc qui aurait presque autant de solidité que s'il était formé d'un seul morceau, et qui aurait les dimensions convenables pour faire le voussoir qu'on voudrait tracer.

14me. LEÇON.

Des berceaux en descente.

Les berceaux en descente ne diffèrent des berceaux ordinaires, qu'en ce que les génératrices de l'intrados des descentes sont inclinées à l'horizon. Du

reste, cet intrados est une surface cylindrique, comme dans les berceaux ordinaires, où les génératrices sont horizontales.

Nous allons considérer les descentes pratiquées 1°. dans un pan de bois droit, 2°. dans un comble plan, 3°. dans un pan de bois cylindrique droit, et 4°. dans un comble conique droit. Nous pourrions aussi donner les épures des descentes pratiquées dans les pans de bois cylindriques obliques, et celles pratiquées dans les combles coniques obliques; mais comme ces épures ne sont pas utiles, attendu que de pareilles voûtes ne se présentent jamais, ou presque jamais dans la pratique, nous nous dispenserons de les donner, afin d'abréger un peu. D'ailleurs nous avons donné ces épures dans notre traité spécial de coupe des pierres, où nous renvoyons le lecteur.

Descente droite dans un pan de bois droit.

121. Nous appelons descente droite dans un pan de bois droit, celle dont la projection horizontale de l'axe de l'intrados est perpendiculaire aux traces horizontales des faces du pan de bois. L'épure de cette espèce de descente est très-simple.

En effet, supposons que ABCD (fig. 190) soit la section droite du pan de bois, et que la droite AE soit la projection verticale de la génératrice de naissance de l'intrados de la descente; cela posé, par les points A et E on menera les droites AG, EF perpendiculaires à AB, sur lesquelles on tracera les cintres d'intrados HIK, MNO, et ceux d'extrados GQL, FRP, respectivement égaux, et de manière que les naissances G et F, H et M, etc. soient sur les droites GF, HM, etc., perpendiculaires à GA ou FE. Cela fait, on divisera les cintres d'intrados en autant de parties égales qu'on voudra avoir de morceaux de bois; par les points de division *a*, *e*, *c* et *g*, on menera les normales *ab*, *ef*, *cd* et *gh*; on joindra les extrémités de ces normales par les génératrices *ac*, *eg*, *bd* et *fh*, et l'épure sera terminée.

Si l'on veut avoir la projection verticale de la descente dans le plan de la section droite du pan de bois, on opérera comme l'indique les droites ponctuées, menées par les points de division des cintres parallèlement à GA, et les droites *ml*, *nk*, *oi* et *p*C seront les projections verticales des arêtes situées sur l'intrados et sur l'extrados.

Pour tracer et tailler les voussoirs, celui de naissance, par exemple, on commencera par choisir un morceau de bois de dimensions convenables; on fera deux faces opposées, planes et parallèles entre elles, et à une distance égale à l'épaisseur du pan de bois; ensuite, au moyen d'un panneau, on tracera sur les faces planes et parallèles du morceau de bois, la forme GF*dca*H

comme si l'on voulait faire un voussoir de berceau droit, dans un pan de bois droit. Cela fait, on levera le panneau de tête *GbaH*, qu'on appliquera de même sur les faces planes et parallèles du morceau de bois, de la manière suivante :

Sur la face de devant du morceau, on fera raccorder les bords GH, H*a* de ce panneau de tête avec les traits *ab*, *bc* (fig. *a*) donnés par le premier panneau, et on tracera les lignes *ad*, *cd*; sur la face opposée, on menera la droite *eh* parallèle à *ik*, et à une distance *ie* égale à DE (fig. 194); on raccordera les bords GH, G*b* (fig. 194) du panneau de tête avec les lignes *eh*, *ef* (fig. *a*); on menera les lignes *hg*, *gf*, et le voussoir sera tracé. On conçoit maintenant comment on le terminerait.

Par cette méthode, qui est aussi expéditive que facile à saisir, on tracera et on taillera tous les autres voussoirs. La figure *b* représente le morceau du sommet, ou la clef.

Descente biaise dans un pan de bois droit.

122. Les descentes biaises, dans un pan de bois droit, ne diffèrent de celles qui sont droites, qu'en ce que la projection horizontale EF (fig. 195) de l'axe de l'intrados est oblique par rapport aux traces horizontales AB, CD des faces du pan de bois dans les biaises, et perpendiculaire dans les droites. Aussi les épures des unes sont presque semblables à celles des autres, ainsi qu'on peut le voir, en comparant les figures 194 et 195. Quant à la manière de tracer les voussoirs, elle est parfaitement la même.

Descente droite dans un comble plan.

123. Les descentes dans un comble plan peuvent traverser le comble d'une manière quelconque; mais presque toujours il convient mieux, comme disposition, que les génératrices de l'intrados de la descente soient perpendiculaires à la face du comble. C'est ce que nous supposons dans la figure 196.

Pour faire l'épure dans cette hypothèse, rien n'est plus facile; en effet, soient ABDC la section droite du comble; sur le prolongement de la génératrice de naissance EF de la descente, on décrira les cintres d'intrados PTQ et d'extrados OSN ; on disposera les joints des voussoirs de la descente comme à l'ordinaire sur ces cintres, et par les points U, T, V et S, on menera les droites UI, TH, VL et SB parallèlement à EN, et l'épure sera terminée.

Pour tracer et tailler les voussoirs, on s'y pendra parfaitement comme pour le cas d'un berceau ordinaire droit dans un pan de bois droit.

Si l'on demandait la projection horizontale *abcdefgh*, on s'y prendrait

comme on le voit assez clairement dans l'épure même ; mais cette projection est inutile pour l'exécution de la voûte.

Descente biaise pratiquée dans un comble plan.

124. Pour que la descente produise le meilleur effet possible, il faut que l'intrados soit donné par les cintres de face, afin qu'on puisse faire ces cintres de face aussi réguliers qu'on voudra, en plein cintre, par exemple ; et pour que l'exécution soit facile, il faut que les génératrices symétriques de l'intrados soient dans des plans perpendiculaires aux faces du comble.

Cela posé, supposons que FEGH (fig. 197) soit la section droite du comble ; que ab, perpendiculaire à FE, soit la projection verticale de la génératrice de naissance de la descente, et que AB soit la projection horizontale de l'intersection de la face supérieure du comble avec la face extérieure du mur d'égout. Menons la droite $h'n'$ parallèle à AB, et décrivons les cintres de face $i'p^3l'$, $h'p^2m'$ d'intrados et d'extrados, qui doivent se trouver sur la face supérieure du comble ; par les points h', i', l' et m', abaissons les droites $h'h$, $i'i$, $l'l$ et $m'm$, perpendiculaires à AB ; par le point a abaissons la perpendiculaire ac sur CB ; par le point C, comme centre, et avec le rayon Cc, décrivons le quart de cercle cf ; par le point f, menons fh parallèle à AB, et la droite fh sera la projection horizontale de l'intersection du plan mené par la naissance de la descente avec la face supérieure du comble. Traçons de même celle eg de l'intersection du même plan de naissance avec la face intérieure du comble ; ensuite, par les points h, i, l et m, menons les droites hg, ik, lo et mn parallèles entre elles, et suivant l'obliquité que doit avoir la descente ; par les points g, k, o et n, élevons à la ligne de terre $h'n'$ les perpendiculaires gg', kk', oo' et nn' ; enfin, sur les diamètres $k'o'$, $g'n'$, décrivons les deux cintres $k'q^3o'$, $g'q^2n'$ respectivement égaux aux premiers $i'p^3l'$, $h'p^2m'$; divisons tous ces cintres en un même nombre de parties égales pour avoir les joints des morceaux de bois, et l'épure sera terminée.

On tracera et on taillera les voussoirs par la méthode donnée au n°. 121, en levant les panneaux sur la figure $h'q^2n'l'q^3k'$.

Si l'on veut avoir les projections horizontales des intersections de l'intrados et de l'extrados avec les faces du comble, on opérera comme il suit : Sur la droite ab prolongée, on décrira les cintres de face d'intrados IKL, et d'extrados ONM de la descente, comme on le voit dans l'épure, sur lesquels on opérera de la même manière qu'au n°. 123, et on obtiendra d'abord les projections horizontales irl, hvm des intersections de l'intrados et de l'extrados avec la face supérieure du comble ; puis, par les points u, r, s, t, v, x, on mènera les

droites *uy*, *rz*, *ss'*; *tt'*, *vv'*, *xx'* parallèlement au biais de la descente; on fera toutes ces droites égales à *ik*, et par leurs extrémités on fera passer les courbes *kyzs'o*, *gt'v'x'n*, dont on aurait obtenu les mêmes points, en opérant comme l'indiquent les quarts de cercle tels que BD, et les droites qui aboutissent à ces quarts de cercle.

Descente pratiquée dans un pan de bois cylindrique droit.

125. Supposons que les courbes AB, CD (fig. 198) soient les traces horizontales des faces du pan de bois cylindrique droit au travers duquel on veut pratiquer la descente, et que la projection horizontale NM de l'axe de l'intrados partage ces deux courbes en deux parties symétriques NA, NB, et MC, MD. Cela posé, menons la tangente OP par le point N, et sur cette tangente, concevons un plan vertical qui rencontre l'intrados et l'extrados prolongés; nous pourrons prendre ces rencontres pour les directrices des surfaces d'intrados et d'extrados; supposons que les projections verticales de ces directrices soient les courbes EFG, HIK, le plan de projection étant parallèle au plan vertical élevé sur la droite OP; nous pourrons prendre ces courbes EFG, HIK pour les cintres de la voûte, et opérer ensuite ainsi qu'on va le voir.

On prendra une ligne de terre ST parallèle à NM; par les points où les projections horizontales d'un certain nombre de génératrices, d'intrados et d'extrados, rencontreront les traces horizontales des faces du pan de bois, on élevera des perpendiculaires indéfinies à cette ligne de terre; par le point T on menera la droite TU suivant le rempant de la descente; par le point U on menera la droite UY perpendiculaire à HX; puis, on obtiendra les projections verticales *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, *ik*, *Zm* des génératrices qu'on aura choisies sur l'intrados et sur l'extrados, comme on le voit indiqué dans l'épure : ces génératrices en projection verticale rencontreront les perpendiculaires à la ligne de terre ST, respectivement en des points *x*, *t*, *q*, *g*; *z*, *s*, *u*, Z; *y*, *b*, *o*, *n*; T, *d*, *v*, *m*, par lesquels on fera passer les courbes *xtg*, *zsZ*, *ybn* et T*dm*, qui seront les projections verticales des cintres de face de la descente, tant pour l'intrados que pour l'extrados.

Maintenant, il nous faut avoir les cintres principaux d'intrados QF'R, et d'extrados OI'P. Pour cela, nous prendrons pour axe la droite OP sur laquelle les abscisses se trouvent toutes portées; et on fera les ordonnées respectivement égales à *t'b'*, *t'd'*, *t'f*, *t'h*, *t'k*, *t'l*, la droite *t'l* étant perpendiculaire à TU.

Pour pouvoir tracer et tailler les voussoirs, il nous faut encore les dé-

veloppemens des panneaux d'intrados, d'extrados et de joints, qu'on obtiendra ainsi qu'il suit :

On menera (fig. a) une droite quelconque, AB, sur laquelle, à partir du point e, on développera l'intrados RF′Q de la section droite, ce qui donnera les points e, d, c, b, a, par lesquels on élevera à AB les perpendiculaires $e'e^2$, $d'd^2$, $c'c^2$, $b'b^2$, $a'a$; on fera les longueurs ee', dd', cc', bb', aa' respectivement égales à $t'x$, $b't$, fq, hg (fig. 198) ; et par les points e', d', c', b' (fig. a) on fera passer la courbe $e'd'c'b'a'$; on fera ensuite les longueurs ee^2, dd^2, cc^2, bb^2, aa^2 respectivement égales à $t'y$, $b'b$, fo, hn (fig. 198), et par les points e^2, d^2, c^2, b^2, a^2 (fig. a), on fera passer la courbe $e^2d^2c^2b^2a^2$, et la figure $e^2e'd'c'b'a'a^2b^2c^2d^2$ sera le développement d'intrados. On aura celui d'extrados $C^2b^3E^2G^2B^2B'G'E'b^4C'$ en s'y prenant d'une manière semblable.

Pour avoir le panneau $e^2e'g'f'f^2g^2$ du joint de naissance, on fera les distances eg, ef respectivement égales à RR′, RP (fig. 198), et par les points g et f (fig. a), on menera à AB les perpendiculaires gg^2ff^2 ; puis on fera les longueurs gg', ff' (fig. a) respectivement égales à $t'x'$, $t'z$ (fig. 198), et par les points e', g' et f' on fera passer la courbe $e'g'f'$ (fig. a) ; on fera de plus les longueurs gg^2, ff^2 respectivement égales à $t'y'$, $t'T$ (fig. 198) ; par les points e^2, g^2 et f^2 (fig. a), on fera passer la courbe $e^2g^2f^2$, et la figure $e^2g^2f^2f'g'e'$ sera le panneau demandé. Pour avoir le panneau de joint $a^2a'h'A'A^2h^2$, on s'y prendrait d'une manière analogue, ainsi que pour tout autre panneau semblable. Au moyen de ces panneaux et de ceux de tête levés sur la section droite OQF′RPI′, on tracera et on taillera les voussoirs comme il a été dit au n°. 119, en prenant les plus grandes longueurs des morceaux de bois sur la projection verticale dont ST est la ligne de terre.

Cette méthode, facile à comprendre, exige de l'adresse pour ne pas perdre trop de bois. Il y aurait à cet égard bien des choses à dire qui ne sauraient trouver place dans un livre, mais qu'on expliquerait sans peine en exécution. Il faut donc pour cela consulter un praticien habile, et surtout le voir opérer lui-même dans plusieurs circonstances. Au reste, un lecteur intelligent, ingénieux, trouvera de lui-même des moyens adroits pour se tirer d'affaire.

Descente pratiquée dans un Comble conique.

126. Supposons qu'on ait d'abord tracé l'épure du comble conique de la même manière que nous l'avons expliqué dans son lieu, ainsi qu'on le voit dans la figure 199. Cela posé, supposons que l'intrados de la descente soit une surface cylindrique entière ; pour que cette voûte produise le meilleur effet possible, on prendra, pour la projection horizontale de l'axe de l'intra-

dos, celle AB d'une génératrice des faces du comble, et, pour projection verticale du même axe, la droite CD perpendiculaire à la génératrice EF, de la face supérieure du comble, dont la projection horizontale est AB. A une distance quelconque, on menera la droite GH parallèle à EF, sur laquelle, comme axe, on décrira la courbe GLHM, qui sera la section droite de l'intrados de la descente; on divisera cette courbe en autant de parties égales qu'on voudra, et, par les points de division, on menera les droites *ba*, *dc* perpendiculaires à EF. Sur la droite IK, perpendiculaire à AB, comme axe, on décrira la courbe INKO, égale à GLHM, et de manière que l'axe IK soit égal à LM, et celui OM égal à GH; on divisera cette courbe INKO de la même manière que la première MGLH, et, par les points de division, on menera les droites *ef*, *gh* parallèles à OB. Cela fait, voici comment on obtiendra les projections horizontales et verticales des intersections de l'intrados de la descente avec les faces du comble.

Supposons qu'il s'agisse de l'intersection de l'intrados avec la face supérieure du comble, et contentons-nous d'expliquer le procédé pour les deux génératrices de cet intrados, qui se trouvent dans le plan vertical élevé sur la droite *if*. On commencera par chercher la projection verticale $i'k'l'n'm'o'$ de l'intersection du plan vertical élevé sur la droite *io* avec la face supérieure du comble, laquelle projection verticale rencontrera les droites *ba*, *dc* respectivement aux points *p*, *q*, qui seront les projections verticales des points où les génératrices d'intrados *ap*, *cq* rencontrent la face supérieure du comble. Pour avoir les projections horizontales p' et p'', q' et q'' des mêmes points, il suffira d'abaisser, par les points *p* et *q*, les perpendiculaires pp'', qq'' à la ligne de terre EE', qui rencontreront respectivement $p'q'$, $p''q''$ aux points demandés.

Pour avoir la projection verticale $i'k'l'n'm'o'$ de l'intersection, avec la face supérieure du comble, du plan vertical élevé sur la droite *io*, on supposera des sections faites dans la surface conique par des plans horizontaux, dont les traces verticales soient les droites *r*R', QR, ST, LZ, UV, XY; par les points *r*, Q, S, L, U et X, où les droites *r*R', QR, etc. rencontrent EF, on abaissera, à la ligne de terre EE', les perpendiculaires *r*A, QQ', SS', LL', UU', XX', qu'on terminera à la droite AB; par le centre B, et avec les rayons BA, BQ', BS', BL', BU', BX', on décrira les cercles A*i*, Q'*k*, S'*l*, L'*n*, U'*m*, X'*o*, qui seront les projections horizontales des sections faites dans le cône, par les plans horizontaux dont il est question. Cela fait, par les points *i*, *k*, *l*, *n*, *m* et *o*, où ces cercles rencontrent la droite *io*, on élevera, à la ligne de terre EE', les perpendiculaires ii', kk', ll', nn', mm' et oo', qui rencontreront respectivement les droites *r*R', QR, ST, etc. aux points i', k', l', n', m' et o';

par lesquels on fera passer, à la main, la courbe $i'k'l'n'm'o$, qui sera la projection verticale demandée.

En opérant de la même manière sur d'autres génératrices de l'intrados de la descente, on obtiendra autant de points qu'on voudra des projections verticales stX et horizontales $s't'X't'$ de l'intersection de cet intrados avec la face supérieure du comble. La même méthode servira aussi pour avoir les projections verticale uDv et horizontale $u'D'v'D^2$ de l'intersection du même intrados avec la face intérieure du comble.

Ayant obtenu les projections des intersections de l'intrados de la descente avec les faces du comble, on disposera les morceaux de bois qui doivent former la descente, de manière que ces morceaux s'assemblent entre eux et avec ceux du comble, à peu près comme on le voit en projection horizontale. Je n'expliquerai pas la manière d'avoir les projections verticales de ces morceaux de bois, ni celle de les tracer, persuadé que le lecteur aimera mieux les chercher lui-même. La figure $m^2m^3m^4m^5m^6m^7m^8m^9$ est la projection verticale du morceau dont la projection horizontale est $p'p^2p^3p^4D^4D^3D'$. Cette projection verticale servira de panneau pour tracer ce morceau.

15me. LEÇON.

Des Portes et Œils de bœuf coniques.

Les portes coniques ne diffèrent des œils-de-bœuf qu'en ce que l'intrados des premières n'est que la surface d'un demi-tronc de cône, et celui des derniers la surface d'un tronc tout entier.

Ces sortes de voûtes peuvent être pratiquées au travers des pans de bois droits, des pans de bois cylindriques droits, des combles plans, des combles cylindriques et des combles coniques. Elles offrent quelques difficultés d'exécution, mais elles se présentent rarement dans la pratique. Nous nous contenterons d'en donner deux exemples, pris dans des cas qui puissent faire entendre, au lecteur intelligent, l'esprit des épures auxquelles elles donnent lieu. Au surplus, comme ces épures sont à peu près les mêmes que celles des mêmes espèces de voûtes en pierre de taille, nous renverrons le lecteur à notre Traité spécial de Coupe des pierres, où nous nous sommes étendu sur ce sujet.

Porte conique dans un pan de bois cylindrique droit.

127. Soient AB, CD (fig. 200) les traces horizontales des faces du pan de bois, et supposons que les bases des poteaux d'huisserie soient les figures AEGC, FBDH, dont les côtés AC, EG, FH, BD, prolongés, passent par le centre I des traces horizontales des faces du pan de bois.

Celà posé, par les sommets E, F de ces figures, on menera la droite EF; sur laquelle on supposera élevé un plan vertical qui rencontrera l'intrados de la porte suivant une courbe que l'on pourra se donner à volonté, et que l'on prendra pour la directrice de la surface d'intrados. On décrira cette courbe KML sur une ligne de terre KL, parallèle à EF; on divisera cette même courbe KML en autant de parties égales qu'on voudra avoir de joints; par les points de divisions a, b, on abaissera les perpendiculaires aa', bb' à la ligne de terre, que l'on arrêtera à leur rencontre a', b' avec la droite EF; par ces points a', b', et le centre I des traces horizontales des faces du pan de bois, on menera les droites cd, ef, qui seront les projections horizontales des arêtes des douëlles des voussoirs. Par les points de divisions a, b de la directrice KML, on menera les coupes gh, ik tendantes au centre I' de la directrice, quelle que soit cette dernière. Ensuite, on prolongera les droites IA, IB jusqu'à leurs rencontres en N, O, avec la droite EF prolongée de part et d'autre; par les points N et O on élevera, à la ligne de terre PR, les perpendiculaires NP, OR, et sur le diamètre PR on décrira la courbe PQR, semblable à KML, qui sera la directrice de l'extrados. Par les points h, k, où les coupes gh, ik rencontrent la courbe PQR, on abaissera, à la ligne de terre PR, les perpendiculaires hh', kk', que l'on terminera à la droite EF, et par les points h', k' et le centre I des traces horizontales des faces du pan de bois, on menera les droites $h'h''$, $k'k''$, qui seront les projections horizontales des arêtes d'extrémité de coupe. Cela fait, on obtiendra les projections verticales G'nH', KoL, C'pD' et A'qB' des arêtes d'intersection de l'intrados et de l'extrados de la porte avec les faces du pan de bois, de la manière qui suit:

Par les points A, l, m et B, on élevera, à la ligne de terre, les perpendiculaires AA', ll', mm' et BB', qui rencontreront la ligne de terre et les coupes aux points A', l', m' et B', par lesquels, à la main, on fera passer la courbe A'$l'qm'$B', qui sera la projection verticale de l'arête d'intersection de l'extrados de la voûte avec la face convexe du pan de bois. Pour tracer cette courbe comme il faut, il est nécessaire d'en avoir le sommet q. Pour cela, on menera, au point S, la tangente SU à la courbe AB; on fera TN égal à I'Q; par les points I et N, on menera la droite IU; on fera I'q égal à SU, et le point q

16me. LEÇON.

Des Voûtes en arc de cloître, et de celles en arêtiers.

129. Pour nous faire une idée de ce qu'on appelle voûtes en arc de cloître, supposons que le rectangle ABCD (fig. 202) soit la moitié du plan d'une salle rectangulaire; que sur le mur BC et son opposé soit établi un berceau, et que sur les deux autres murs AB, CD, de la salle, soit établi, au même niveau, un second berceau qui rencontre le premier, de manière que les projections horizontales de leurs intersections soient les diagonales BE, CE: les portions des intrados de ces berceaux, comprises entre leurs intersections réciproques, formeront ensemble l'intrados d'une voûte en arc de cloître.

On voit, par cette définition des voûtes en arc de cloître, que leur intrados se compose de la réunion de quatre espèces de triangles cylindriques, dont les bases, qui sont les génératrices de naissance des berceaux, se trouvent sur les faces des quatre murs de la salle, et leurs sommets se réunissent au même point, qui est le sommet de la voûte.

Attendu que la nature de l'intersection des intrados des deux berceaux est déterminée, le cintre principal de l'un de ces berceaux étant donné, celui de l'autre dépend nécessairement du premier et de la nature de leur intersection, et ne peut, par conséquent, être donné arbitrairement.

Le meilleur système de construction, et, peut-être, le seul convenable pour les voûtes en arcs de cloître, est celui que nous avons expliqué au n°. 100, pour les combles cylindriques à quatre pentes, et que nous avons désigné par les expressions de *système par assises.* Cependant le système par combinaison pourrait encore y être appliqué, ainsi que celui de Philibert de Lorme.

Les voûtes en arc de cloître peuvent avoir lieu sur un plan polygonal quelconque, régulier ou irrégulier.

Donnons un exemple de ce genre de voûte.

130. Supposons, comme nous venons de le dire, que le rectangle ABCD (fig. 202) soit la moitié du plan d'une salle rectangulaire que l'on veut voûter en arc de cloître; donnons-nous le demi-cintre principal HI du berceau qui a le plus petit diamètre; et, parallèlement à ce demi-cintre, décrivons celui GK de l'extrados. Cela fait, divisons ces deux demi-cintres en autant de parties égales qu'on voudra avoir d'assises dans un demi-berceau, ainsi que les quadrilatères *a*, *b*, *c*, K l'indiquent, et déterminons de suite les pro-

jections verticales *ad, be, cf,* des morceaux de bois qui marqueront les assises, ainsi que celle GF d'une plate-forme qui posera sur les murs, et formera l'établissement de la voûte.

Cela fait, déterminons les cintres d'intrados NOP, et d'extrados LQM du second berceau. Pour cela, observons que si les premiers cintres sont des demi-circonférences de cercles, ceux dont il s'agit seront des demi-ellipses, dont les demi-petits axes seront les rayons de ces demi-circonférences, et les grands axes les longueurs BC, B'C'; nous pourrons donc décrire ces demi-ellipses par la méthode des rayons vecteurs. Si les deux premiers cintres sont des courbes quelconques, pour avoir les deux en question, nous prendrons des points à volonté sur les deux premiers, par lesquels nous abaisserons des perpendiculaires à la ligne de terre GF, que nous prolongerons jusqu'à leurs rencontres avec les diagonales EB', EC'; par les points de rencontre, nous éleverons des perpendiculaires indéfinies à la ligne de terre LM, et, à partir de cette ligne de terre, nous ferons ces perpendiculaires respectivement égales aux ordonnées correspondantes des premiers cintres.

Ayant décrit les cintres NOP, LQM du grand berceau, nous tracerons les projections verticales des morceaux de bois LM, *gm, hl, ik,* dont les arêtes seront, par rapport à la droite LM, à la même hauteur que celles des morceaux de bois GF, *ad, be, ef* par rapport à la droite GF. Cela fait, nous distribuerons, à égales distances entre eux, des morceaux de bois courbés suivant les cintres du petit berceau, qui s'assembleront à tenons dans des mortaises pratiquées dans les plates-formes des naissances posées sur les grands murs, et dans les morceaux qui marquent les assises, ainsi qu'on le voit dans l'épure. Nous distribuerons de même le diamètre du petit berceau, par de pareils morceaux de bois, qui auront la courbure des grands cintres, et qui s'assembleront de même à tenons dans les plates-formes des naissances, et dans les morceaux qui marquent les assises. Enfin, nous ferons la projection horizontale de tous ces morceaux de bois, et de quatre autres placés aux intersections des berceaux, qu'on appelle *arêtiers*, dans lesquels tous ceux qui marquent les assises doivent s'assembler à tenons. Ces quatre arêtiers s'assembleront au sommet de la voûte, dans un patin dont la projection horizontale est le polygone E. Pour avoir la forme, la courbure de ces mêmes arêtiers, il faudra s'y prendre tout-à-fait comme nous l'avons expliqué au numéro 100 pour ceux des combles cylindriques à quatre pentes; l'inspection de l'épure achève d'éclaircir tout ce que nous venons de dire.

Quant à la manière de tracer les morceaux de bois, elle est la même que celle que nous avons donnée au numéro 100.

La figure 203 est l'épure d'une voûte en arc de cloître mixte, terminée au sommet par un plafond. C'est une espèce de plancher en voussure. Cette épure diffère si peu de la précédente, et elle est si facile à comprendre par la seule inspection, que je crois inutile de l'expliquer.

Des Voûtes en arêtiers simples.

131. Supposons 1°. que la droite ABCD (fig. 204) soit la projection horizontale de l'une des génératrices de naissance, et la droite HI celle de l'axe d'un berceau; 2°. que les droites EB, FC soient les projections horizontales des génératrices de naissance, et la droite KG celle de l'axe d'un second berceau; 3°. que les naissances de ces deux berceaux soient au même niveau, et l'angle formé par les axes soit quelconque; 4°. enfin que les projections horizontales des intersections des intrados de ces deux berceaux soient les diagonales BG, CG; je dis que la voûte qui résultera de la réunion des deux berceaux sera une *voûte en arêtiers.*

On voit par là que les voûtes en arêtes ont une grande analogie avec celles en arc de cloître, cependant ces deux espèces de voûtes ne se ressemblent nullement : elles sont le contraire les unes des autres; toutefois, la méthode à suivre pour tracer les épures des voûtes en arêtiers est la même, à très-peu de chose près, que celle que nous avons indiquée pour les voûtes en arc de cloître, ainsi qu'on en sera convaincu en comparant les épures figures 202 et 204. Dans les unes comme dans les autres les cintres des berceaux dépendent l'un de l'autre, et l'un étant donné on trouve l'autre parfaitement de la même manière pour les deux genres de voûtes. Il est donc inutile de s'appesantir davantage sur ce sujet, les figures d'ailleurs s'expliquant d'elles-mêmes.

Les voûtes en arêtiers peuvent être formées par un nombre quelconque de berceaux, dont les cintres seraient tous déterminés d'après l'un d'eux. Il est important d'observer que pour toutes les voûtes en arêtiers, comme pour celles en arc de cloître, le meilleur système de construction est celui par assises horizontales, comme on le voit indiqué dans la figure 204.

Des Voûtes à doubles arêtiers.

132. Il y a des voûtes qu'on appelle à doubles arêtiers, dont la figure 205 présente un exemple. Pour se faire une idée de cette espèce de voûtes, il faut concevoir une voûte en arêtier ordinaire, et qu'ensuite des plans verticaux, élevés sur les droites AE, AC, BF, BC (fig. 205), viennent rencontrer l'intrados de cette voûte en arêtiers ordinaires, suivant des courbes qui, prises deux à deux

(et de manière que les deux qu'on prendra soient celles qui aboutissent au même sommet A, ou B, ou etc. des piédroits), serviront de directrices à quatre surfaces cylindriques, qui commenceront en un point à la naissance, et qui iront en s'élargissant en allant au sommet de la voûte, de manière à avoir les largeurs CE, CF, etc. Ces quatre surfaces cylindriques seront donc triangulaires, et formeront quatre pans coupés, qui se réuniront en haut à une voûte plate ou plancher, qui comprendra le quadrilatère dont le triangle ECF est la moitié. Ce quadrilatère peut être quelconque ; mais il convient mieux que ses côtés CE, CF, etc. soient respectivement parallèles aux diagonales AD, BD. Du reste, l'épure s'explique d'elle-même.

17me. LEÇON.

Des Voûtes sphériques, des Voûtes sphéroïdes et des Dômes.

133. On appelle *voûtes sphériques et voûtes sphéroïdes*, celles dont l'intrados est une demi-surface sphérique ou sphéroïde (voyez Géométrie à trois dimensions).

Le meilleur système de construction pour ces deux genres de voûtes est celui par assises horizontales; on peut aussi y appliquer celui de Philibert de Lorme; mais tous les autres systèmes offrent plus ou moins d'inconvénient et sont plus ou moins défectueux. Le premier donne le plus de solidité, exige le moins de bois et de main d'œuvre, et l'épure en est plus facile. C'est pour cela que nous nous contenterons de donner ce système seulement, sans distinguer si la voûte est sphérique ou sphéroïde, attendu que la méthode est la même pour ces deux genres de voûtes.

L'épure d'une voûte sphérique ou sphéroïde (fig. 206 et 207) est absolument la même que celle que nous avons donnée au n°. 89 pour les combles coniques, ce dont on peut se convaincre en comparant les figures 206 et 207 aux figures 167 et 168. Ainsi, d'après ce que nous avons dit au n°. 89, il serait superflu d'entrer ici dans aucun détail, les figures 206 et 207 s'expliquant d'ailleurs d'elles-mêmes. Cependant, nous allons donner le moyen d'avoir les projections verticales des morceaux de bois courbes qui s'assemblent dans les couronnes horizontales. Voici quel est ce moyen :

Supposons qu'il s'agisse de celle dont la projection horizontale est *ab* (fig. 206); par les points où les côtés de cette projection horizontale rencontreront les projections horizontales des arêtes des couronnes horizontales

qui marquent les assises de la voûte, on élevera des perpendiculaires à la ligne de naissance AB, qui iront respectivement rencontrer les projections verticales des mêmes arêtes en des points par lesquels on fera passer les courbes *cde, oif, mlh* et *nkg,* qui seront les projections verticales des arêtes de la pièce courbe en question. On opérerait de la même manière pour chacune des autres.

Quant à la manière de tracer les morceaux courbes dont nous venons de donner les projections verticales, elle est la même que celle que nous avons donnée au n°.100 pour les morceaux de bois analogues des combles cylindriques (la figure *b* représente un de ces morceaux), et pour tracer les morceaux des couronnes horizontales, on s'y prendra comme nous l'avons expliqué au n°.89 pour les mêmes morceaux des combles coniques, avec cette différence que dans les voûtes sphéroïdes les morceaux d'une même couronne s'assembleront à trait de Jupiter, les uns au bout des autres. La figure *a* représente un de ces morceaux.

Il est inutile de faire observer que la figure 206 est la moitié de l'épure d'une voûte entière, et la figure 207 celle d'une pareille voûte percée d'un trou cylindrique au sommet, pour tirer le jour par en haut.

134. Ce système de construction par assises horizontales est surtout recommandable pour les dômes, qui sont toujours des voûtes sphériques ou sphéroïdes; pour s'en convaincre, il suffit de considérer les figures 208, 210 et 212. La première de ces figures est l'épure d'un petit dôme tout simple, surmonté d'une lanterne dont les colonnes sont établies sur la dernière couronne horizontale du dôme : la moitié à droite de cette épure présente le dôme en dehors, et l'autre moitié en dedans. La seconde est un dôme composé de deux voûtes, une intérieure, sur l'extrados de laquelle on peut établir un escalier pour monter à la lanterne, et l'autre extérieure, qui est réunie à la première par les poteaux de la lanterne, laquelle lanterne se trouve par conséquent soutenue par les deux voûtes à la fois. La même chose a lieu dans la figure 212.

J'ai mis en parallèle, dans les planches 61 et 62, les deux systèmes figure 209 et figure 211, dont le premier est tiré du Traité de Charpente de Mathurin Jousse, et le second est celui exécuté au dôme des Invalides, pour qu'on puisse mieux juger des avantages du système par assises horizontales, qui exige beaucoup moins de bois.

On remarquera que, dans les figures 209 et 211, nous n'avons donné que le profil d'une ferme, dans la projection verticale, pour éviter la confusion qui résulterait de l'ensemble des projections verticales des autres fermes; tandis que la projection verticale du système par assises horizontales est complète

dans les deux figures 210 et 212, sans qu'il y ait la moindre confusion. Si l'on voulait donner une plus grande solidité aux dômes, figures 210 et 212, on n'aurait qu'à réunir les deux voûtes par de petites moises distribuées convenablement, et qui relieraient les couronnes horizontales de l'une aux couronnes horizontales de l'autre. Ces couronnes étant faites de morceaux de bois réunis les uns aux autres à trait de Jupiter, il n'y aurait aucune crainte de les désassembler; mais ces moises seraient presque toujours surabondantes.

18me. LEÇON.

Des Voûtes annulaires, et de celles annulairoïdes.

135. L'intrados des voûtes annulaires est une surface engendrée par un demi-cercle ou une tout autre courbe régulière tournant dans un plan vertical autour d'une droite verticale.

Le système de construction le plus convenable à ce genre de voûtes, est, comme pour les voûtes sphéroïdes, celui par assises horizontales. La méthode à suivre pour en tracer les épures et les morceaux de bois, est la même que celle donnée au numéro précédent.

Ainsi (fig. 213 et 214) il nous suffira d'avertir que les courbes ABC, DEF sont les cintres d'intrados et d'extrados de la voûte annulaire, et que les arcs de cercle IKN, HGA, LMC et OPQ, décrits du même centre R, sont les traces horizontales des murs qui soutiennent la voûte, pour que le lecteur puisse ensuite comprendre l'épure des figures 213 et 214. Nous n'avons donné la projection verticale (fig. 214) que pour mieux faire comprendre la forme de la voûte; mais elle est tout-à-fait inutile pour tracer les morceaux de bois.

136. Les voûtes annulairoïdes ne diffèrent des voûtes annulaires, qu'en ce que l'intrados, au lieu d'être une surface de révolution, comme dans ces dernières, change de courbure à chaque instant, attendu que les murs cylindriques droits qui soutiennent les voûtes annulairoïdes ne sont pas partout à égale distance l'un de l'autre. Cette circonstance rend l'épure plus difficile que celle d'une voûte annulaire; voici la méthode à suivre.

Supposons (fig. 215) que les courbes AB, CD soient les traces horizontales des faces intérieures des murs sur lesquels la voûte doit être établie, la distance AC étant moindre que BD. Cela posé, on divisera ces deux courbes AB, CD en un même nombre de parties égales, et par les points correspondans de division on menera les droites IE, KF, LG, MH; on prendra les

milieux *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* des parties de ces droites comprises entre les deux courbes AB, CD; et par ces points milieux on fera passer à la main la courbe *abcdef*, qui sera la projection horizontale du sommet de la voûte. Sur les droites CA, NT, OS, PZ, QR, DB, on fera les distances CY, NI, OK,....... AX, TE, SF....... toutes égales à l'épaisseur qu'on voudra donner à la voûte, et sur les diamètres CA et YX, NT et IE, OS et KF, etc. on décrira les demi-circonférences *rst* et *uvx*, N*p*T et *Iq*E, O*n*S et K*o*F, etc.; on divisera ces cintres auxiliaires de la même manière que si ces cintres étaient ceux d'un berceau, pour marquer sur ces cintres les têtes des pièces de bois qui doivent former les couronnes horizontales qui marquent les assises de la voûte. Par les sommets des têtes de ces couronnes sur chaque cintre auxiliaire, on abaissera des perpendiculaires respectivement sur les droites YX, IE, KF, etc., et par les pieds de ces perpendiculaires, on fera passer les courbes qu'on voit dans l'épure, qui seront les projections horizontales des arètes des mêmes couronnes. On regardera les droites YX, IE, etc., comme les milieux des courbes qui doivent s'élever dans des plans verticaux, et s'assembler dans les couronnes horizontales, et on menera à ces droites YX, IE, etc., des parallèles distantes entre elles de l'épaisseur des courbes verticales, ainsi qu'on le voit dans l'épure. Cela fait, il ne restera plus qu'à déterminer les courbures des courbes verticales; ce qu'on fera comme il suit :

Supposons que les cintres *rst*, *uvx* soient ceux d'intrados et d'extrados de la courbe qui répond à la droite YX; pour avoir les pareils cintres des autres courbes verticales, de celle, par exemple, qui est relative à la droite UV, lesquels cintres sont DD'B, UU'V, à partir de la droite UV, prise comme axe, on fera les ordonnées des courbes DD'B, UU'V respectivement égales à celles des courbes *rst*, *uvx*, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure. Il faudrait trouver les pareils cintres, et de la même manière, pour toutes les courbes verticales, par la raison que ces courbes changent de courbures de l'une à l'autre. A la rigueur, il faudrait même des cintres pour chaque face latérale de ces courbes verticales; mais, vu le peu d'épaisseur de ces courbes, il suffit, dans la pratique, des cintres pris au milieu de l'épaisseur, et de supposer ces courbes cylindriques.

Tous ces cintres étant obtenus, ainsi que les projections horizontales des couronnes, je ne pense pas avoir besoin d'expliquer la manière de tracer les morceaux de bois.

Les projections verticales que j'ai ajoutées à l'épure, ne servent qu'à faire comprendre la disposition des morceaux de bois.

19me. LEÇON.

Des Voûtes ellipsoïdes, et de toutes celles dont l'intrados est une demi-surface de révolution, dont l'axe de rotation est horizontal.

Voûtes ellipsoïdes.

137. On appelle voûtes ellipsoïdes, celles dont l'intrados est une demi-surface ellipsoïde (voyez la Géom. à trois dim., n°. 224), c'est-à-dire celles dont l'intrados est engendré par une demi-ellipse, faisant une demi-révolution autour d'un de ses axes, cet axe étant horizontal. La figure 216 est l'épure d'un voûte de ce genre. On voit, dans cette épure, que nous y avons appliqué le même système de construction que pour les voûtes sphéroïdes, et en effet, c'est encore ici le système le plus convenable. Voici la méthode à suivre pour tracer cette épure :

Supposons que le quart d'ellipse BC soit le quart de la trace horizontale de la face intérieure du mur cylindrique sur lequel la voûte doit être établie. Cela posé, on prendra les lignes de terre $A'C^3$, A^2B^5, respectivement parallèles aux demi-axes AC, AB du quart d'ellipse BC, prolongés indéfiniment; comme toute section faite par un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, dans une surface de révolution, est une circonférence de cercle (Géom. à trois dim., n°. 225), par le centre A^2, et avec le rayon AB, on décrira le quart de cercle B^4D, qui sera la demi-projection verticale de la section faite dans l'intrados de la voûte par un plan vertical élevé sur la droite AB; par le même centre A^2, on décrira le quart de cercle B^5D', de manière que la distance B^4B^5 soit l'épaisseur de la voûte, et ce quart de cercle B^5D' sera la courbe d'extrados à l'aplomb de la droite AB. Cela fait, sur les quarts de cercle B^4D, B^5D' on distribuera, comme pour les voûtes sphéroïdes, les profils des couronnes horizontales qui marquent les assises, et on en déterminera les projections verticales. Sur la ligne de terre $A'C^2$, on décrira le quart d'ellipse B^2C^2 parfaitement égal à celui BC qui est la trace horizontale de la face intérieure du mur cylindrique sur lequel la voûte doit être établie, et ce quart d'ellipse B^2C^2 sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados avec un plan vertical mené par l'axe de rotation. On fera B^2B^3 égal à B^4B^5 et C^2C^3 égal ou plus grand que BB^5, suivant qu'on le jugera convenable, et sur les demi-axes $A'B^3$, $A'C^3$ on décrira le quart d'ellipse B^3C^3, qui sera la projection verticale de la courbe d'extrados à-plomb de l'axe AC. On fera les lon-

gueurs AB', AC' respectivement égales à A^2B^5, $A'C^3$, et sur ces longueurs AB', AC', comme demi-axes, on décrira le quart de cercle $B'C'$, qui sera la projection horizontale de la naissance de l'extrados de la voûte; de sorte que le quart de la couronne horizontale posée sur le mur, à la naissance de la voûte, aura pour projection horizontale la figure $BB'C'C$. Il faudra ensuite tracer les projections verticales des autres couronnes horizontales, dans le plan de projection dont $A'C^3$ est la ligne de terre, et pour cela, parallèlement à la ligne de terre $A'C^3$, on menera les droites $a'b'$, $c'd'$, $g'h'$, $e'f'$, etc., à des distances de la droite $A'C^3$, respectivement égales aux hauteurs A^2a, A^2c, A^2g, A^2e, etc.: ces droites $a'b'$, $c'd'$, $g'h'$, etc. rencontreront les quarts d'ellipse C^2B^2, C^3B^3 en des points b', d', h', f', etc., que l'on joindra par les droites $b'd'$, $h'f'$, etc. Après cela, on cherchera les projections horizontales des mêmes couronnes, et pour cela, supposons qu'il s'agisse de la première au-dessus de la naissance; par les points h', b', f' et d', on abaissera, à la ligne de terre $A'C^3$, les perpendiculaires $h'h^2$, $b'b^2$, $f'f^2$, $d'C$; par les points h, b, f et d, on abaissera, à la ligne de terre A^2B^5, les perpendiculaires hh^3, bb^3, fB, et dd^3; puis sur les demi-axes Ah^3 et Ah^2, Ab^3 et Ab^2, etc. on décrira les quarts d'ellipse h^2h^3, b^2b^3, f^2B, Cd^3, qui seront les projections horizontales des arêtes de la couronne en question. On aurait les projections horizontales des arêtes des autres couronnes en suivant la même méthode.

Il faut ensuite déterminer les projections horizontales AB', AE, AF, AG, AH, AC' des pièces de bois courbes, disposées dans des plans verticaux, passant par le sommet de la voûte, qui viennent s'assembler dans les couronnes horizontales. Pour cela, on divisera, en parties égales aux points E, F, G, H, le quart d'ellipse BC de naissance d'intrados; par les points de divisions, on menera les droites AE, AF, AG, AH, parallèlement auxquelles on menera les droites pleines qu'on voit dans l'épure, distantes entre elles de l'épaisseur qu'on veut donner à ces courbes verticales. Pour avoir les projections verticales de ces mêmes courbes, on opérera comme nous l'avons expliqué pour les voûtes sphéroïdes.

La courbure de ces courbes verticales varie de l'une à l'autre et même pour chacune d'elles d'une arête latérale à l'autre, et par conséquent il faut les obtenir toutes l'une après l'autre. Cependant, attendu le peu d'épaisseur de ces courbes, il suffira, dans la pratique, d'avoir pour chacune la courbure au milieu de son épaisseur.

Pour avoir la courbure de l'une de ces courbes, de celle dont la projection horizontale de son milieu est la droite AH, par tous les points où les projections horizontales des arêtes des couronnes horizontales rencontrent

la droite AH, on élevera des perpendiculaires à cette dernière ; à partir d'une droite KL, parallèle à AH, on fera toutes ces perpendiculaires respectivement égales aux hauteurs des arètes des couronnes, par rapport à la naissance de la voûte, et ensuite, on fera passer à la main les courbes ON, KM, par les extrémités supérieures de toutes ces perpendiculaires, lesquelles courbes seront celles qu'on demandait. L'inspection de l'épure acheve, du reste, d'expliquer la méthode. On s'y prendra de la même manière pour avoir la courbure des autres courbes, et l'épure sera terminée.

Pour tracer les morceaux des courbes, on levera des panneaux sur les courbures que nous venons d'expliquer, pour aller d'une couronne à l'autre, et pour les morceaux des couronnes, on indiquera sur leurs projections horizontales la distribution des joints par lesquels ils doivent s'assembler, et on levera ensuite des panneaux de projection horizontale pour chacun d'eux en particulier. Il faudra de plus des cerces pour chaque arête de chaque morceau, et appliquer ensuite la méthode que nous avons expliquée pour les couronnes horizontales des combles coniques.

Des Voûtes paraboloïdes.

138. Les voûtes qu'on appelle paraboloïdes sont celles dont l'intrados est une surface engendrée par une branche de parabole faisant une demi-révolution autour de son axe supposé horizontal.

L'épure de ce genre de voûte ne diffère de celle que nous venons d'expliquer, qu'en ce que les projections horizontales des arêtes des demi-couronnes horizontales sont des paraboles. Ainsi, après avoir tout disposé comme dans la figure 216, et avoir déterminé les points h^3 et h^2, b^3 et b^2, B et f^2, d^3 *et* C, etc., on fera passer les paraboles h^3h^2, b^3b^2, Bf^2, d^3C, d'après la méthode indiquée par la figure 217, et que nous avons expliquée au n°. 455 de la Géométrie plane. Tout le reste se fera comme nous l'avons dit pour les voûtes ellipsoïdes.

Dans le Traité spécial de coupe des pierres, nous avons expliqué un procédé général pour tracer l'épure d'une voûte dont l'intrados est une surface de révolution quelconque, dont l'axe de rotation est horizontal. Comme la même méthode peut s'appliquer aux voûtes en charpente du même genre, eu égard à la différence entre les deux epèces de construction, nous n'en parlerons point ici.

20me. LEÇON.

Des Pendentifs et des Pénétrations réciproques des voûtes.

Des pendentifs.

139. Supposons (fig. 218) que le rectangle DABC soit la moitié d'un carré inscrit dans le cercle de naissance d'une voûte sphérique, et que sur les quatre côtés de ce carré s'élèvent quatre plans verticaux qui rencontrent l'intrados de la voûte suivant quatre demi-circonférences de cercle; si l'on ne considère que la partie de l'intrados comprise entre ces quatre demi-circonférences de cercle, on aura l'intrados d'un pendentif à quatre côtés. Un pendentif peut avoir depuis trois côtés jusqu'à un nombre quelconque, mais ceux à quatre côtés sont les plus ordinaires et les plus convenables. Pour qu'un pendentif produise un bon effet, il faut que ses côtés soient égaux, de sorte que les plans verticaux qui les déterminent doivent être élevés sur les côtés d'un polygone régulier inscrit dans le cercle de naissance de la voûte sphérique. L'intrados d'un pendentif peut être une portion de surface sphéroïdé ou ellipsoïde, aussi bien qu'une portion de surface sphérique, mais dans ce dernier cas le pendentif est de meilleur forme. Les moins agréables sont ceux qui sont ellipsoïdes, attendu que les côtés ne peuvent pas être égaux, ainsi que cela peut avoir lieu dans ceux qui sont sphériques ou sphéroïdes. Voici la manière la plus convenable de construire ces sortes de voûtes.

Supposons qu'il s'agisse d'un pendentif sphérique: après avoir décrit le rectangle DABC (fig. 218), qui est la demi-projection horizontale de l'intrados du pendentif, on en décrira un autre *abcd* dont les côtés seront respectivement parallèles à ceux du premier, et distans de ceux-ci de l'épaisseur qu'on voudra donner à quatre arcades dont les cintres seront les demi-circonférences de cercle qui sont les côtés du pendentif, ou mieux encore, quand on le pourra, ces cintres seront des demi-circonférences de cercle concentriques aux côtés du pendentif, mais d'un plus petit diamètre, ce qui fera que ces arcades seront des arc-doubleaux. Cela posé, on prendra une ligne de terre OU parallèle à DC, sur laquelle on décrira la projection verticale du pendentif, comme il suit:

On prolongera d'abord les droites *ba*, AD, BC, *cd* indéfiniment vers

les points P et R; par le point K, milieu de FG, comme centre, et avec les rayons KF, KS, on décrira les demi-circonférences de cercle FHG, STU, qui seront la projection verticale de l'arcade du côté du pendentif dont la projection horizontale est la droite AB, et par le même centre K, on décrira la demi-circonférence *efg*, si les arcades doivent être des arcs doubleaux. Par ce même centre K, et avec les rayons KI, KO, respectivement égaux à EA, E*b*, on décrira les arcs de cercle IMLN, OPQR, et les portions MLN, PQR de ces arcs de cercle seront les projections verticales des intersections avec l'intrados et l'extrados, d'un plan vertical élevé sur la droite DC. Cela fait, on disposera les morceaux de bois de la voûte, dans le même esprit que s'il s'agissait d'une voûte sphérique ordinaire, ainsi qu'on le voit dans l'épure; car un pendentif sphérique n'est au fond qu'une voûte sphérique ordinaire tronquée.

L'épure figure 218 explique suffisamment les petites modifications qu'il faut apporter dans la disposition des morceaux de bois dans les pendentifs. On remarquera que les quatre arcades qui forment les côtés du pendentif sont tronquées au sommet par la couronne horizontale MPRN, et à leurs naissances par des plans verticaux élevés sur les droites A*b*, B*c*; la figure B*hc* est celle de la section de jonction. Pour la décrire on prendra les hauteurs des points *i* et *k* par rapport à la ligne de terre FG, qui seront les ordonnées des points *h* et *m* de la courbe *cmh*, qui n'est pas nécessaire pour tracer les morceaux de bois.

S'il s'agissait d'un pendentif sphéroïde, on disposerait les choses de la même manière; seulement, les courbes FHG, STU, IMLN, OPQR seraient semblables à la courbe génératrice d'intrados.

En se rappelant ce qui a été dit sur les voûtes ellipsoïdes, et le modifiant convenablement, on parviendra sans peine à faire l'épure d'un pendentif de ce genre.

Des pénétrations réciproques des voûtes.

La théorie des pénétrations réciproques des voûtes ayant été présentée sous un point de vue fort étendu dans notre Traité spécial de coupe de pierres, et cette théorie étant moins importante en charpente, nous nous contenterons ici d'en donner plusieurs exemples, qui, étant expliqués avec quelque développement, suffiront pour faire sentir l'esprit des épures des différentes espèces de voûtes composées qui résultent des pénétrations réciproques des voûtes simples que nous avons expliquées jusqu'ici. Entrons en matière :

Pénétration de deux Berceaux.

140. Supposons (fig. 219) que les droites GK, LU soient les traces horizontales des faces d'un pan de bois droit sur lequel est établi un berceau dont la courbe ST est une portion du cintre principal prise vers la naissance, et qu'il s'agisse de pratiquer, au travers de ce pan de bois, un second berceau dont les naissances soient au même niveau que celles du premier, et dont les cintres principaux d'intrados et d'extrados soient les courbes quelconques ACB, DEF, décrites sur une ligne de terre DS, perpendiculaire à la projection horizontale PR de l'axe de ce second berceau.

Cela posé, on divisera les cintres ACB, DEF en autant de parties égales qu'on le jugera convenable; par les points de division et ceux de naissance, on abaissera, à la ligne de terre DS, les perpendiculaires DL, AM, *cg*, *af*, *bi*, *dk*, BN et FU, ce qui donnera d'abord les projections horizontales GHML, IKUN des naissances du berceau pénétrant. Ensuite, par les points *b*, C, E et *d*, on menera, à la ligne de terre DS, les parallèles *bo*, *dn*, C*m* et E*l*, qui rencontreront le cintre principal ST du berceau pénétré en des points S, *o*, *n*, *m*, *l*, par lesquels on abaissera, à la ligne de terre DS, les perpendiculaires S*p*, *oq*, *nr*, *ms* et *lt*, que l'on prolongera, la première, jusqu'à la droite LU, prolongée, et toutes les autres indéfiniment; par le point *p*, ou S*p* rencontre L*p*, on menera *pt* parallèle à la ligne de terre DS, et *py* perpendiculaires à L*p*. Par le point *p*, comme centre, et avec les rayons *pq*, *pr*, *ps* et *pt*, on décrira les arcs de cercle *qu*, *rv*, *sx* et *ty*; par les points *u*, *v*, *x* et *y*, on menera, à la droite LU, les parallèles *uf*, *vg*, *x*Q et *y*R, qui viendront rencontrer les perpendiculaires correspondantes, abaissées par les points de division des cintres ACB, DEF, sur la ligne de terre DS, en des points par lesquels on fera passer les courbes M*f*Q*i*N, L*g*R*k*U, qui seront les projections horizontales des intersections de l'intrados et de l'extrados du berceau pénétrant, avec l'intrados du berceau pénétré, et l'épure sera terminée. Nous expliquerons tout-à-l'heure la manière de tracer les voussoirs du berceau pénétrant.

Il faut observer que le cintre principal de l'intrados du berceau pénétré doit avoir une plus grande élévation, au-dessus du plan des naissances, que celui de l'intrados du berceau pénétrant.

Pénétration d'un Berceau et d'une Voûte sphérique.

141. Supposons (fig. 220), 1°. que les arcs de cercle GK, OL soient les traces horizontales des faces du pan de bois ou du mur cylindrique droit qui

soutient la voûte sphérique; 2°. que la projection horizontale QS, prolongée, de l'axe du berceau, passe par le centre T de ces traces horizontales GK, OL; 3°. que les naissances du berceau soient au même niveau que celle de la voûte sphérique, et 4°. que le cintre principal du berceau soit une demi-circonférence de cercle; je dis que les projections horizontales NM, OL des intersections de l'intrados et de l'extrados du berceau, avec l'intrados de la voûte sphérique, seront des lignes droites menées par les sommets N et M, O et L des projections horizontales ONHG, MLKI des naissances du berceau. Cette proposition, très-facile à démontrer, rend l'épure de la pénétration dont il s'agit extrêmement simple, ainsi qu'on le voit par la seule inspection de la figure 220, qui s'explique d'elle-même.

Si l'une des conditions que nous venons de poser n'avait pas lieu, alors les projections horizontales des intersections de l'intrados et de l'extrados du berceau avec l'intrados de la voûte sphérique seraient des lignes courbes que l'on décrirait comme il sera dit au numéro suivant.

Ces courbes auront lieu :

1°. Dans le cas où les cintres principaux du berceau étant des demi-circonférences de cercle, les naissances des deux voûtes ne seront pas au même niveau.

2°. Dans le cas où les cintres principaux du berceau étant des demi-circonférences de cercle, et les naissances étant au même niveau, la projection horizontale de l'axe du berceau ne passera pas par celle du centre de la voûte sphérique.

3°. Dans le cas où les cintres principaux du berceau ne seront pas des demi-circonférences de cercle, que les naissances soient au même niveau ou non, et que la projection horizontale de l'axe du berceau passe ou non par celle du centre de la voûte sphérique.

Cependant, les naissances étant au même niveau, ces projections horizontales seraient encore des lignes droites, dans le cas où celle de l'axe du berceau ne passerait pas par celle du centre de la voûte sphérique, pourvu que les intersections, avec l'intrados et l'extrados du berceau, d'un plan vertical élevé sur les droites NM, OL (fig. 220), fussent des demi-circonférences de cercle.

Dans tous les cas, la manière de tracer et de tailler les voussoirs du berceau sera celle que nous expliquerons ci-après.

Pénétration d'un Berceau et d'une Voûte sphéroïde ou annulaire.

142. Supposons (fig. 221) 1°. que les arcs de cercle OX, GK soient les traces horizontales du mur cylindrique droit sur lequel la voûte sphéroïde est établie, ou de l'un de ceux qui soutiennent la voûte annulaire; 2°. que la

droite QS, quelconque, soit la projection horizontale de l'axe, et les courbes quelconques ACB, DEF soient les cintres principaux du berceau; et 3°. que la courbe UV soit une portion de la génératrice d'intrados de la voûte sphéroïde ou annulaire, prise à la naissance du côté où la pénétration doit avoir lieu; cela posé, on obtiendra les projections horizontales NRM, OSL, à peu de chose près comme nous l'avons expliqué sur la figure 219, pour la pénétration de deux berceaux, ainsi que la comparaison des deux épures le fait voir suffisamment. Le cas général de la pénétration d'un berceau avec une voûte sphérique se traiterait de même.

Pénétration d'un Berceau et d'une Voûte ellipsoïde.

143. Supposons (fig. 222) 1°. que le quart d'ellipse HQUH′ soit la projection horizontale du quart de l'ellipse de naissance de la voûte ellipsoïde, et la courbe GNG′ soit la trace horizontale de la face extérieure du mur cylindrique droit de la salle, et 2°. que la droite V*g* soit la projection horizontale de l'axe, et les courbes quelconques ACB, DEF les cintres principaux d'intrados et d'extrados du berceau.

Cela posé, on prendra une ligne de terre W′Y perpendiculaire à la projection horizontale GW de l'axe de rotation de la surface d'intrados de la voûte ellipsoïde, sur laquelle ligne de terre on décrira le quart de cercle $H^{2}H^{3}$, qui jouera le rôle du demi-cintre principal de la voûte ellipsoïde. Ensuite, après avoir pris des points à volonté sur les cintres principaux du berceau, on menera, par ces points, et des perpendiculaires dd^{3}, cc^{2}, etc. et des parallèles aa^{3}, bb^{3}, etc. à la ligne de terre DF; par le centre X, et avec les rayons Xa^{3}, Xb^{3}, etc., on décrira les arcs de cercles $a^{3}a^{4}$, $b^{3}b^{4}$, etc.; on menera, parallèlement à la ligne de terre $H^{2}W'$, les tangentes $a^{4}a^{5}$, $b^{4}b^{5}$, etc. à ces arcs de cercle, lesquelles tangentes rencontreront le quart de cercle $H^{2}H^{3}$ en des points a^{5}, b^{5}, etc., par lesquels on abaissera, à la ligne de terre $H^{2}W'$, les perpendiculaires $a^{5}I'$, $b^{5}K'$, $C^{3}L'$, et Z′M′, qui, par leurs intersections avec la droite H′W, donneront les demi-petits axes WI′, WK′, WL′ et WM′, des quarts d'ellipse I′I, K′K, L′L et M′M, qu'on décrira par la méthode des rayons vecteurs, après avoir déterminé les demi-grands axes WI, WK, WL, et WM, en menant par les points I′, K′, L′ et M′, les droites I′I, K′K, L′L et M′M, parallèles à celle H′H menée par les extrémités des demi-axes du quart d'ellipse H′H de naissance : ces quarts d'ellipse, qui sont semblables à celui de naissance, rencontreront les perpendiculaires correspondantes abaissées à la ligne de terre DF par les points pris sur les cintres ACB, DEF, en des points par lesquels on fera passer les courbes $Pa^{2}fc^{2}U$, $Qb^{2}gd^{2}T$, qui seront

les projections horizontales des intersections de l'intrados et de l'extrados du berceau avec l'intrados de la voûte ellipsoïde, et l'épure sera terminée.

Pour pouvoir tracer les voussoirs avec facilité, il faudra chercher les panneaux de douëlles d'intrados et d'extrados, ainsi que ceux de joints, ce qu'on fera comme il suit :

Pour avoir ceux de douëlle, on menera une droite quelconque AB (fig. *a*); sur laquelle on fera les distances AD, DE, EG et GB respectivement égales aux arcs A*a*, *a*C, C*c*, *c*B (fig. 222) ; par les points A, D, E, G et B (fig. *a*), on menera les droites A*k*, D*l*, E*n*, G*p* et B*r* perpendiculaires à AB ; on fera ensuite les longueurs A*a*, D*d*, E*e*, G*g* et B*i*, respectivement égales à AO, a^6a', V*e*, c^6c', et BR (fig. 222); et par les points *a*, *d*, *e*, *g*, et *i* (fig. *a*), on fera passer la courbe *adegi;* puis on fera les distances A*k*, D*l*, E*n*, G*p* et B*r*, respectivement égales à AP, a^6a^2, V*f*, c^6c^2 et BU (fig. 222), et par les points *k*, *l*, *n*, *p* et *r* (fig. *a*), on fera passer la courbe *klnpr*, et les panneaux des douëlles seront *adlk*, *denl*, *egpn* et *girp*.

Pour avoir les panneaux de joints, on fera les largeurs DC, EF, GH (fig. *a*), respectivement égales aux longueurs de coupe *ab*, CE, *cd* (fig. 222), et par les points C; F, H (fig. *a*), on menera les droites C*m*, F*o* et H*q*, perpendiculaires à AB; on fera ensuite les longueurs C*c*, C*m*, F*f*, F*o*, H*h*, H*q*, respectivement égales à b^6b', b^6b^2, V*e*, V*g*, d^6d', d^6d^2, et on fera passer les courbes *dc*, *lm*, *ef*, *no*, *gh*, *pq* (fig. *a*) par les points *c* et *d*, *l* et *m*, etc. Pour avoir ces courbes convenablement, il faudrait des points intermédiaires que nous n'expliquerons pas, parce qu'ils sont faciles à trouver.

On obtiendra les panneaux des douëlles d'extrados FGML, MGHN, NHIO, OIKP (fig. *b*), en opérant sur l'extrados du berceau comme nous l'avons fait sur l'intrados pour avoir les panneaux de douëlle d'intrados.

Au moyen de ces panneaux, on tracera les voussoirs par la même méthode que celle que nous avons expliquée pour les berceaux pratiqués dans les pans de bois cylindriques droits.

On se conduira de la même manière pour avoir les panneaux des voussoirs des autres pénétrations expliquées précédemment, et on tracera les voussoirs d'après la méthode que nous venons de rappeler.

Pour faire voir de quelle manière les morceaux de bois des voûtes pénétrées s'assembleraient avec le berceau pénétrant, nous donnons, planche 68, les deux projections de la pénétration d'un berceau et d'une voûte sphérique, pour le cas général. L'inspection de cette épure suffira pour faire sentir la disposition et le raccordement des morceaux de bois de ces deux voûtes.

21me. LEÇON.

Des Escaliers.

144. Les escaliers en charpente ne sont pas à beaucoup près aussi importans et aussi variés dans leurs dispositions que ceux en pierres de taille.

En effet, on ne fait les escaliers en bois que dans des maisons ordinaires ou d'une importance médiocre. Le plus souvent on ne fait en bois que les escaliers de dégagement, que l'on appelle *dérobés*. Aussi, nous ne rentrerons point ici dans un aussi grand développement sur ce sujet, que nous l'avons fait en coupe des pierres.

Nous nous dispenserons de définir ce que sont un escalier, une marche ou degré, tout le monde sachant bien ce qu'on entend par ces mots; et nous établirons de suite les principes qui doivent servir de guides dans la composition et l'exécution d'un escalier.

Je dis d'abord que la largeur de la face de dessus d'une marche, de celle qui reçoit le pied de la personne qui monte ou qui descend et qu'on nomme *giron*, et la hauteur de la même marche, doivent avoir ensemble 49 centimètres (18 pouces), autant que les circonstances le permettent; autrement l'escalier est difficile à monter et à descendre. Le plus ordinairement on donne 33 cent. (12 pouces) au giron et 16 cent. (6 pouces) à la hauteur. Cette proportion est très-convenable, mais on est obligé quelquefois de s'en écarter par le défaut d'espace. Quand on augmente la hauteur, on doit diminuer le giron, et réciproquement, pour que toujours, ou du moins autant que possible, la somme de ces deux dimensions soit égales à 49 cent. (18 pouces).

La longueur des marches varie suivant l'importance des escaliers. Celle des marches d'un escalier en charpente peut varier depuis 54 cent. (20 pouces) jusqu'à un mètre 30 cent. (4 pieds), et même jusqu'à un mètre 63 cent. (5 pieds).

On appelle *palier* un espace horizontal, plus large qu'un giron de marche, qui interrompt l'escalier pour ménager un repos. Dans les escaliers en charpente, la largeur des paliers doit être telle qu'en montant ou en descendant on puisse faire librement un ou deux pas. La grandeur des pas peut être évaluée à environ 49 cent. (18 pouces). Le premier pas en montant doit avoir un giron de plus, à cause que le giron de la marche qui vient au niveau du dessus du palier, et qu'on appelle *marche palière*, se trouve occupé par la longueur du pied qu'on met dessus pour arriver sur le palier,

et que d'ailleurs il doit rester encore l'espace nécessaire pour faire un pas ordinaire : d'où il suit que le premier pas demande une distance d'environ 81 cent. (2 pieds 6 pouces). En conséquence, les paliers d'un pas auront une largeur de 81 cent. (2 pieds 6 pouces), et ceux de deux pas, de 1 mètre 30 cent. (4 pieds).

Mais ces largeurs de paliers ne sont pas tellement déterminées, qu'on ne puisse s'en écarter de quelques centimètres en plus ou en moins, et il est même des circonstances où il est impossible de s'y conformer.

On appelle rampe ou vollée d'escalier, une suite de marches non interrompue, comprise entre deux paliers, ou entre un palier et le sol d'où part l'escalier.

Dans les grands escaliers, l'usage veut que le nombre des marches de chaque rampe ou vollée soit impair; mais dans les escaliers en charpente, il est inutile de s'y assujétir; ce qu'il est plus important d'observer, c'est que le nombre des marches d'une rampe d'escalier soit au moins de trois, et au plus de 21. Moins de trois marches rend l'escalier dangereux, surtout dans l'obscurité, et plus de 21 le rend fatigant.

Une chose très-urgente à observer, et qu'on observe pourtant fort peu, c'est que toutes les marches d'un même escalier, montât-il jusqu'au 6me étage, soient toutes égales entre elles, et par leur giron, et par leur hauteur, la moindre différence qui s'y trouve faisant éprouver un choc désagréable aux personnes qui montent ou qui descendent. A toutes les convenances qui précèdent, et qui composent, par leur ensemble, le but vers lequel on doit tendre lorsque l'on compose un escalier, il faut encore joindre celles-ci, qui consistent à rechercher les dispositions et les formes les plus simples et les plus naturelles, tout ce qui est compliqué inutilement et de forme contournée sans nécessité étant toujours de mauvais goût. Ainsi on fera en sorte que les faces que l'escalier présentera, tant en dessous, que sur la tête des marches, soient des surfaces planes; et si elles doivent être courbes, que leur courbure soit bien caractérisée et bien motivée, et on évitera ces surfaces onduleuses que l'on pratique presque toujours sous les escaliers en charpente, ce qui annonce aussi peu de goût que de connaissance sur la génération des belles surfaces, et produit des intersections, avec les faces intérieures des murs de la cage de l'escalier, qui n'ont aucun caractère déterminé, et qui présentent les effets les plus désagréables. C'est ce que nous allons éviter avec le plus grand soin, dans les exemples qui vont suivre, et qui probablement seront mal accueillis par la routine.

Nous allons établir les différens genres d'escaliers qui sont du domaine de

la charpente, et en même temps nous expliquerons ce qui est relatif à leur composition, à leur représentation en projection verticale, et à leur construction.

Les escaliers sont à rampes droites ou à rampes courbes. Chacune de ces deux classes d'escaliers comprend plusieurs genres, et chaque genre plusieurs espèces. En coupe de pierres, ces genres et ces espèces sont assez nombreux; en charpente ils le sont beaucoup moins. Il ne peut guère, en effet, être question ici que d'un genre pour chaque classe, les escaliers à rampes droites suspendues, et les escaliers à rampes courbes également suspendus.

On appelle escalier suspendu, celui dont les marches sont scellées seulement par un bout dans les murs de la cage, et isolées par l'autre bout. Les escaliers suspendus sont avec ou sans *limon*. Le limon est une espèce de petit mur suspendu aux têtes isolées des marches, sur lequel on scelle la rampe en fer. Tout cela s'entend des escaliers à rampes courbes comme de ceux à rampes droites.

Passons à des exemples qui nous feront connaître les espèces.

Escaliers suspendus à rampe circulaire, avec limon.

145. Supposons que les circonférences de cercle ACB, DEF (fig. 224) soient les traces horizontales des faces du mur cylindrique droit qui forme l'enceinte ou la cage de l'escalier. Cela posé, on divisera le diamètre *ab* du cercle intérieur ACB, de manière que la partie *kf* du milieu en soit au moins le tiers, et sur *kf*, comme diamètre, on décrira le cercle *kef*, qui sera la projection horizontale de la face extérieure du limon. On décrira celle *ghi* de l'autre face du limon, de manière que la distance *eh*, qui en marque l'épaisseur, soit environ le douzième de la longueur C*e* des marches. On décrira la circonférence de cercle GHI à égale distance de ACB et de *ghi*, sur laquelle on marquera les largeurs des marches ou girons, en se conformant aux principes posés plus haut, et en partant du point G de la ligne de départ donnée par les circonstances. Pour fixer la grandeur de ces girons, on supposera d'abord que la hauteur des marches peut être de 16 cent.; on divisera la hauteur à laquelle doit monter l'escalier par 16 cent., et le quotient entier le plus approché (en plus ou en moins) qu'on obtiendra, sera le nombre de marches que devra avoir l'escalier. Si ce quotient est exact, les marches auront effectivement 16 cent. de hauteur; sinon, pour connaître exactement cette hauteur, on divisera celle à laquelle doit monter l'escalier par le nombre des marches, et le nouveau quotient, approché jusqu'aux millimètres, s'il y a lieu, sera la

hauteur demandée : ayant la hauteur, on la retranchera de 49 cent., et le reste sera le giron à porter sur la circonférence de cercle GHI. Si le point d'arrivée est fixé aussi bien que celui de départ, il pourra se faire que l'on soit obligé de diminuer ou d'augmenter le giron donné par le calcul ; tout ce qu'on peut recommander à cet égard, c'est de tâcher de s'en écarter le moins possible. C'est en mettant une marche de plus ou de moins qu'on peut compenser les choses le plus possible, et s'approcher ainsi des règles établies.

Ayant fixé les girons sur la circonférence GHI, comme il vient d'être dit, on menera des droites tendantes au centre *c*, que l'on voit ponctuées dans l'épure, lesquelles seront les projections horizontales des devants des marches. Parallèlement à ces droites ponctuées, on en menera d'autres à une distance égale à la saillie de la moulure, que l'on voit ligne pleine dans l'épure, et la projection horizontale de l'escalier sera terminée, sauf le départ, qu'on peut disposer comme on le voit ici, où le devant de la première marche ne tend pas au centre *c* comme celui des autres, afin de lui donner un peu plus de largeur vers la tête arrondie. On voit en *k* que le limon commence en volute. Suivant l'importance de l'escalier, on arrondit la tête de une, deux et même trois marches, et on recule, en conséquence, la volute qui donne naissance au limon.

Quoique la projection verticale de l'escalier ne soit pas nécessaire pour faire les marches et le limon, nous l'avons tracée ici, pour donner une idée de l'effet de l'escalier, et expliquer, en même temps, la méthode qu'il convient de suivre pour l'obtenir lorsqu'on désire l'avoir.

Voici comment on s'y prendra pour avoir cette projection verticale :

Après avoir pris une ligne de terre MN, sur la projection verticale KL de l'axe de la cage, on portera toutes les hauteurs des marches à la suite les unes des autres ; par les points donnés par ces hauteurs, on menera des parallèles à la ligne de terre MN, lesquelles seront les projections verticales indéfinies des dessus des marches. Cela fait, par les points où les projections horizontales des devants et des moulures des marches rencontrent la trace horizontale ACB de la face intérieure du mur de la cage, on élevera des perpendiculaires à la ligne de terre MN (comme on les voit ponctuées), qui rencontreront respectivement les projections verticales des dessus, de manière à donner les projections verticales des intersections des devants des marches et de leurs moulures avec la face intérieure du mur de la cage, ce que l'épure indique suffisamment. On se conduira de même pour avoir les projections verticales des intersections analogues avec la face intérieure du limon ; c'est-à-dire que, par les points où les projections horizontales des devants et des moulures des

marches rencontrent celle *ghi* de la face intérieure du limon ; on élevera des perpendiculaires à la ligne de terre MN, qui rencontreront les projections verticales des dessus des marches, de manière à donner celles des intersections dont il s'agit.

Pour avoir les projections verticales des arêtes supérieures et inférieures du limon, ainsi que celle de l'intersection de la surface du dessous de l'escalier avec la face intérieure du mur de la cage, on s'y prendra comme il suit :

1°. Pour l'arête supérieure et intérieure du limon, on portera, en contre haut de la projection verticale du dessus de chaque marche, et sur le prolongement de celle de l'intersection du devant avec la face intérieure du limon, une hauteur telle que *mn*, qui sera assez grande pour que l'arête en question passe à au moins 4 cent. au-dessus de l'arête supérieure de la moulure des marches : de cette manière on obtiendra les points nécessaires pour dessiner la courbe *nop*, qui sera la projection demandée. Par ces mêmes points on menera des parallèles à la ligne de terre MN, telle que *nq*, qui seront rencontrées respectivement par des perpendiculaires à la même ligne de terre menée par les points où les projections horizontales des devants des marches rencontrent celle *def* de la face extérieure du limon, de manière à donner des points tels que *q*, par lesquels on fera passer la courbe *qor*, qui sera la projection verticale de la seconde arête supérieure du limon.

2°. Pour avoir les projections verticales des deux arêtes inférieures du limon, il ne restera plus qu'à faire les distances *nt*, *qs*, *ou*, *px*, *rv*, et les autres analogues, toutes égales entre elles, et assez grandes pour que la surface du limon prolongée ne tronque pas le dessus des marches, et laisse, au contraire, une certaine épaisseur en contre-bas à l'endroit où le dessus d'une marche rencontre le devant de celle qui suit en montant. Ces distances *nt*, *qs*, etc., étant portées, on aura les points par lesquels on fera passer les courbes *tuv*, *sux*, qui seront les projections demandées.

3°. Pour avoir la projection verticale OPQ de l'intersection de la surface du dessous des marches avec la face intérieure du mur de la cage, en contre-bas de la projection verticale de chaque marche, et sur celle de l'intersection de son devant avec la face intérieure du mur de la cage, on portera une distance telle que *zy*, qui soit la même pour toutes, et plus petite que *q's*, dans le cas où l'on voudrait que le limon se dessinât en dessous, et égale à *q's*, dans le cas contraire, et l'on aura, de cette manière, tous les points nécessaires pour dessiner la courbe demandée OPQ.

Maintenant il nous faut expliquer la génération des surfaces du dessus et du dessous du limon, ainsi que celle du dessous de l'escalier. Pour y par-

venir, concevons que sur la surface d'un cylindre droit à base circulaire ou elliptique, on ait tracé une courbe telle, qu'en développant la surface cylindrique sur un plan, le développement de la courbe soit une ligne droite; je dis que cette courbe sera ce qu'on appelle une *hélice*. Actuellement concevons que les arêtes supérieures ou inférieures du limon soient des hélices telles qu'en faisant glisser une ligne droite sur l'une de ces hélices, cette ligne droite glisse, en tournant, le long de l'axe du mur de la cage, et reste toujours de niveau; on aura la génération de la surface du dessus ou du dessous du limon, et cette surface prendra le nom de *surface hélicoïde*. La surface en dessous des marches sera engendrée de même.

Tout limon engendré de cette manière se nommera *limon hélicoïde*. Les escaliers dont il s'agit ici pourraient prendre le nom d'*escaliers hélicoïdes*, au lieu de celui d'*escaliers en vis à jour*, qu'on leur donne.

Il s'agit à présent d'expliquer de quelle manière il convient de construire le limon et les marches de cette espèce d'escaliers.

Quant au limon, il doit être fait séparément des marches, en plusieurs morceaux, chacun de peu de longueur, afin que la courbure qu'il faut lui donner tranche les fibres du bois le moins possible. Ensuite, pour ne pas employer plus de bois qu'il n'en faut strictement, on s'y prendra de la manière suivante :

Supposons que ABCDEF (fig. 225) soit la projection horizontale du morceau de limon que l'on veut faire, et que la longueur FED de cette projection comprenne quatre girons. Cela posé, on menera la corde AC, et, parallèlement à cette corde, la ligne de terre GH, au-dessus de laquelle on obtiendra les projections verticales, 1°. des intersections des dessus et des devants des marches avec la face convexe du limon; 2°. des arêtes de dessus et de dessous du limon, en se conduisant parfaitement comme nous venons de l'expliquer pour avoir la projection verticale de l'escalier entier dans la figure 224, ainsi que les lignes ponctuées l'indiquent. Ayant trouvé les projections verticales IKL, MKN, OSQ, PSR des arêtes hélices du morceau de limon, on menera les droites TL, OU, parallèles entre elles, de manière qu'elles comprennent entre elles ces courbes, en les touchant par les points les plus saillans, ainsi qu'on le voit sur l'épure : ces deux droites seront les projections verticales de deux plans parallèles, perpendiculaires au plan de projection verticale, entre lesquels le limon sera compris. Cela fait, on fera un panneau *okRnf*, pour tracer sur ces plans les courbures des faces cylindriques du limon, en s'y prenant comme il suit :

Par les points O, *e*, *d*, *c*, *b*, *a*, U, où les droites FO, X'*e*, Y'*d*, E*c*, etc., perpendiculaires à la ligne de terre GH, rencontrent la droite OU, on élevera, à cette der-

nière, les perpendiculaires *Of*, *eg*, *dh*, *ci*, *bm*, *al*, U*n*; on fera celles *dh*, *bm* égales YY′; celle *ck* égales ZB, et par les points *o*, *h*, *k*, *m* et R on fera passer la courbe *ok*R. On fera ensuite les ordonnées *Of*, U*n* égales à VF, celles *eg*, *al*, égales à XX′, enfin celle *ci* égale à ZE, et par les points *f*, *g*, *i*, *l* et *n*, on fera passer la courbe, *fin*, et le panneau *ok*R*nf* donnera les courbures et l'écartement des deux faces cylindriques du morceau de limon.

Pour tailler ce morceau de limon, on équarrira un morceau de bois en forme de parallélipipède droit, dont la base serait le parallélogramme TLUO, et la hauteur la flèche ZE. Soit donc (fig. 226) ABCDEFGH ce parallélipipède; au moyen du panneau *ok*R*nf* (fig. 225), on tracera, sur les faces ABGH, DCFE (fig. 226), les figures *abcdef*, *gmlkih*, et de suite on taillera les deux faces cylindriques du morceau de limon, suivant les courbes *abc* et *gml*, *fed* et *hik*, en ayant soin de faire glisser la règle sur ces courbes parallèlement à l'une des arêtes du parallélipipède telles que EH. Cela fait, on fera les longueurs *gn*, *mo* respectivement égales à *o*P, *c*S (fig. 225), et par les points *n*, *o*, *l* (fig. 226), et avec une règle flexible, on tracera la courbe *nol*, dans la face concave du limon. On fera ensuite les longueurs *kq*, *ip* respectivement égales à UQ, *c*S (fig. 225), et par les points *h*, *p*, *q* (fig. 226), et avec une règle flexible, on tracera la courbe *hpq*, et la face hélicoïde supérieure du limon sera tracée. Il sera facile ensuite de la tailler. Pour tracer celle du dessous, on n'aura qu'à faire les longueurs *hr*, *ps*, *qd*, *lu*, *ot* et *na* toutes égales à IO de la figure 225, et à faire passer les courbes *rsd*, *atu* au moyen d'une règle flexible, dans les faces convexe et concave du limon.

On remarquera que nous supposons que les joints des morceaux de limon sont plans et verticaux, ce qui semble peu solide; mais nous supposons de plus que ces morceaux de limon s'assemblent, dans leurs joints verticaux, à tenons et mortaises, soit que les tenons soient rapportés, soit qu'ils soient formés sur un bout de chaque morceau, les mortaises étant pratiquées dans l'autre bout, de sorte qu'en joignant deux morceaux, le tenon de l'un rentre dans la mortaise de l'autre. On pourrait aussi faire ces joints à un redent, avec ou sans tenon et mortaise. Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire de faire ces joints d'équerre à la rampe, attendu que cette disposition n'ajouterait rien à la solidité, et ferait perdre du bois.

Pour tenir les morceaux de limon en joint, on est dans l'usage d'entailler, de leur épaisseur, de petites plates-bandes en fer dans la face hélicoïde de dessous, qu'on fixe solidement avec des vis.

Il ne nous reste plus qu'à donner la construction des marches et leur assemblage avec le limon, ce qui peut se faire de plusieurs manières.

D'abord on peut former les marches de deux planches, une pour le dessus, qui porte la moulure, et l'autre pour le devant, assemblées haut et bas à languette et rainure dans celles qui forment les dessus de deux marches successives. Ces dessus et ces devants s'assemblent dans des rainures pratiquées dans la face convexe du limon, par un bout, et sont scellés par l'autre bout dans le mur de la cage. La projection verticale de la figure 225 fait voir la disposition de ces planches du côté du limon, et les rainures pratiquées dans ce dernier pour les recevoir, sont indiquées dans la figure 226. Dans la projection verticale de la figure 225, on voit de plus des mortaises *p*, *q*, *r* et *s* dans lesquelles viennent se loger de petits morceaux de bois qui vont se sceller dans le mur et reçoivent les lattes sur lesquelles on fait un enduit de plâtre qui forme la surface hélicoïde du dessous de l'escalier.

Pour empêcher que les marches ne sortent des rainures pratiquées dans le limon, on est dans l'usage d'attacher ce dernier au mur par des tringles en fer à tête carrée d'un bout qui s'entaille dans la face concave du limon, et à scellement par le bout qui entre dans le mur, ou à vis et écrou, si l'enceinte de la cage est un pan de bois. Dans ce dernier cas, on fait quelquefois un faux limon qu'on entaille d'une partie de son épaisseur dans les poteaux du pan de bois, et dans lequel les marches s'assemblent comme dans le premier. C'est contre la face de ce faux limon, qui s'adapte au pan de bois, que l'on serre les écrous des boulons qui rappellent le vrai limon contre les marches. Il ne faut pas prodiguer ces boulons ou tringles en fer. On les place au-dessus de quelques-uns des morceaux de bois qui entrent dans les mortaises *p*, *q*, etc., pour que le plâtre de l'enduit du dessous de l'escalier ne les fasse pas oxider (rouiller).

Cette manière de faire les marches est le plus ordinairement employée, et elle est peut-être la plus convenable. Cependant on les fait quelquefois d'un seul morceau, qui fait la hauteur et le giron de la marche, et dont le dessous est grossièrement taillé et recouvert d'un enduit de plâtre qui forme la surface du dessous de l'escalier.

Si l'on voulait, par extraordinaire, que les dessous de ces marches d'un seul morceau fussent faits avec assez d'exactitude pour rester apparens, et former ensemble la surface hélicoïde, on s'y prendrait comme il suit :

Supposons (fig. 227) que les arcs de cercle AB, EF soient les projections horizontales d'une portion du limon d'un escalier hélicoïde, que celui GH soit une partie de la trace horizontale de la face intérieure du mur de la cage, et que celui IK indique l'enfoncement des marches dans ce mur. Supposons, de plus, que les droites LM, NO soient les projections horizontales des

devants de deux marches, et les droites CI, PQ celles des moulures de ces mêmes marches ; cela posé, sur une droite quelconque AC (fig. 228), on fera les distances AB, BC égales à LN (fig. 227); par les points A, B, C (fig. 228), on élevera, à la droite AC, les perpendiculaires AD, BE, CF; on fera les hauteurs AD, GE égales à celle des marches; on tracera le profil de la moulure de ces dernières ainsi qu'on le voit dans l'épure, et ensuite on fera les recouvremens A*f*, G*a*, *cb* de la largeur qu'on voudra ; par les points *f* et *b*, on imaginera une droite, à laquelle on menera la parallèle *hd*. à une distance *bd* qu'on jugera convenable, et on menera par les points *f*, *a* et *b* les droites *fh*, *ae*, *bd*, perpendiculaires à *hd* : la figure AD*aehf* sera un panneau nécessaire pour tracer les marches. On élevera la verticale *hg*; on prendra la distance Ag pour la porter de N en D (fig. 227); par le point D et le centre de la cage on menera la droite DK, et la figure CDKI sera un panneau de projection horizontale qui servira à tracer les marches. Sur une droite HK quelconque (fig. 228), on fera les distances HI, IK, égales à MO (fig. 227); on fera les hauteurs HL, MN (fig. 228), égales à celles des marches ; et les distances HS, MQ, OP, égales à OK (fig. 227); par les points S, Q, P (fig. 228), on abaissera les verticales ST, QR, PU, que l'on fera égales à *gh*, et l'on menera la droite TU, à laquelle, par les points T, R, U, on menera les perpendiculaires TV, RX, UY, et la figure HLXRTV sera un troisième panneau pour tracer les marches.

Voici maintenant comment on tracera et taillera une marche. On choisira un morceau de bois de dimensions convenables ; on dressera bien la face qui doit être le dessus de la marche, sur laquelle on tracera la forme du panneau de plan CDKI (fig. 227), et d'équerre à cette même face, on fera celles qui répondent aux bords CD, IK du panneau, sur lesquelles on tracera la forme des panneaux de tête A*fhea*D, HVTRYL (fig. 227), dont les bords correspondans serviront de directrices pour faire les autres faces de la marche.

Des Escaliers à rampe circulaire, la moulure des marches retournant sur la face concave du limon.

146. Cette espèce d'escaliers est presque en tout semblable à la précédente; la seule différence qu'il y ait entre ces deux espèces, c'est que dans celle dont il s'agit maintenant, le limon n'a pas de face supérieure hélicoïde, comme dans la précédente, au contraire, ce limon est entaillé par dessus pour recevoir les dessus des marches, dont la moulure retourne sur la face concave du limon, ainsi qu'on le voit en projection verticale dans les figures 229 et 230. Ainsi il est inutile d'entrer ici dans aucun détail, puisqu'il faudrait répéter les

mêmes choses que nous avons dites dans le numéro précédent; et il suffira au lecteur de considérer avec attention les figures 229, 230, 231 et 232, pour comprendre ce qu'il y a de particulier pour le cas actuel. La figure 233 est la vue par derrière d'une marche massive, qui porte elle-même le limon. Ces sortes de marches, dont les panneaux sont donnés par les figures 231 et 232, et sont obtenus de la même manière que nous l'avons expliqué sur les figures 227 et 228, n'ont besoin que d'être fortement scellées dans le mur de la cage pour être solides, ainsi que cela a lieu pour les escaliers de la même espèce faits en pierre de taille; mais en charpente il convient mieux de faire le limon à part, et de faire les marches au moyen de deux planches, comme il a été dit pour la première espèce ; les planches formant le dessus des marches venant se clouer sur les entailles pratiquées sur le dessus du limon, comme l'indique la projection verticale de la figure 230.

Quant au limon, on le fera d'abord comme pour un escalier de la première espèce, et ensuite on pratiquera les entailles qui doivent recevoir les dessus des marches, et même, pour faire ces entailles avec plus de précision, on ne les fera que quand le limon sera mis en place, et maintenu provisoirement par des étais, au fur et à mesure qu'on posera les dessus et les devants des marches.

Des Escaliers à rampe courbe elliptique, avec ou sans moulure sur la face concave du limon.

147. Pour le cas où les moulures ne retournent pas sur la face concave du limon, supposons que l'ellipse ABCDE (fig. 234) soit la trace horizontale de la face intérieure du mur de la cage de l'escalier. Cela posé, on décrira l'ellipse GHI, qui est la projection horizontale de la face extérieure du limon, de manière que le grand axe GI soit au moins le tiers de BD, et que cette ellipse GHI soit semblable à la première ABCDE, c'est-à-dire que les demi-axes FG, FH soient proportionnels aux demi-axes FB, FC. Pour observer cette proportion entre ces demi-axes, après avoir fixé le point G, on menera, par ce point, la droite GH parallèle à BC. On décrira ensuite l'ellipse KLM semblable aux premières, laquelle sera la projection horizontale de la face intérieure du limon, d'où il suivra que le limon sera plus épais en KG qu'en HL, mais je préfère cet inconvénient à celui qui résulterait sur la courbe de l'arête du limon, en faisant son épaisseur uniforme. Enfin, on décrira l'ellipse RNOPS à égales distances des deux ellipses ABCDE, KLM, sur laquelle on portera les girons des marches, en se conformant entièrement à ce qui a été dit au numéro 145. Ainsi les projections horizontales des devants des

marches tendront au centre F comme si l'escalier était circulaire. Quant à la projection verticale de l'escalier, on la tracera exactement comme il a été dit au numéro que nous venons de citer. On fera l'épure des morceaux du limon tout-à-fait de la même manière que nous l'avons expliqué sur les figures 225 et 226; seulement, à cause que la courbure du limon elliptique change à chaque instant, il faudra autant de ces mêmes épures qu'il y aura de morceaux dans le limon, à moins qu'il y ait des morceaux placés de manière qu'ils aient la même courbure, et dans le même sens par rapport à la montée de l'escalier : pour tous ces morceaux semblables, une même épure suffira. Quant aux marches, elles seront construites de la même manière que pour les escaliers circulaires; mais pour donner à la planche qui doit former le dessus, la forme qui lui convient, il faudra un panneau de projection horizontale pour chaque marche.

Pour le cas où la moulure des marches retourne sur la face extérieure du limon, on se conduira de la même manière, avec les différences de détail qu'on voit indiquées dans l'épure, fig. 236. On observera que la projection horizontale ABC de la saillie des moulures qui retournent sur la face extérieure du limon, est parallèle à celle *abc* de cette face extérieure du limon.

Escaliers à rampe courbe avec palier, la moulure des marches retournant ou non sur la face extérieure du limon.

148. Supposons que la figure 234 représente l'épure d'un escalier à rampe courbe quelconque, la moulure des marches ne retournant pas sur la face extérieure du limon: on disposera les choses en projection horizontale, parfaitement comme il a été dit précédemment, en ayant l'attention de ménager la largeur du palier et sa forme, qui doit être déterminée par les projections horizontales QR, ST des devants de la marche palière et de la première qui s'élève au-dessus du palier. Cela fait, on fera le développement indiqué (fig. 235). Dans ce développement on voit les dernières marches de la première rampe, et les premières de la seconde, de manière que le palier se trouve entre. On déterminera les droites *ab*, *gh* et *cd*, *ik*, comme il a été expliqué sur la figure 228, pour chaque rampe séparément, et ensuite on menera la droite *bc* parallèle au-dessus du palier *ef*, à la distance qu'on voudra, laquelle fixera l'épaisseur du palier, et en représentera l'arète de dessous qui est sur la face extérieure du limon. Parallèlement à *bc*, on menera *ki* à la distance qu'on jugera la plus convenable. Cela fait, par les points *b* et *c*, *h* et *i*, on menera les droites *bl*, *cm*, *hn*, *io* perpendiculaires à *ef*; on prendra les distances *en* et *el*, que l'on portera (fig. 234) de Q en *b* et de Q en *a*, et

par les points b et a, et le centre F, on menera les droites bg, ah, qui seront, la première, la projection horizontale de l'intersection du dessus du limon de la première rampe avec le dessus de celui du palier, et la seconde celle de l'intersection de la surface du dessous de la première rampe avec le plan du dessous du palier, en supposant que ces deux faces de dessous soient le prolongement de celles qui leur correspondent dans le limon. On prendra ensuite (fig. 234) les distances fm, fo, pour les porter (fig. 235) de S en c et de S en e, et, par les points c et e, et le centre F, on menera les droites cd, ef, qui seront les projections horizontales des intersections des faces de dessus et de dessous du limon du palier et de celui de la seconde rampe. Cela étant fait, on procédera, pour avoir la projection verticale de l'escalier, comme il a été dit au n°. 145, en terminant les projections verticales des arêtes du limon de la première rampe, à leurs rencontres avec les perpendiculaires élevées à la ligne de terre par les points b, a, i et g, et en ne faisant commencer celles des arêtes du limon de la seconde rampe, qu'à partir des points où les perpendiculaires à la ligne de terre, élevées par les points a, e, k, f, rencontrent les droites lm, no.

Dans le cas où la moulure des marches retourne sur la face extérieure du limon, on se conduira de même, ainsi qu'on le voit dans les figures 236 et 237.

Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails sur les escaliers à rampe courbe, dans la crainte de devenir diffus, et dans l'espérance que ce qui précède suffira aux lecteurs intelligens pour saisir l'esprit de ce genre de construction, quelque contournement qu'on puisse supposer à l'escalier.

22me. LEÇON.

Des Escaliers suspendus à rampe droite et des Escaliers mixtes.

Nous distinguerons deux espèces d'escaliers à rampes droites : ceux à deux rampes et ceux à trois. Dans l'une ou l'autre espèce, la moulure des marches retournera ou non sur la face extérieure du limon.

Des Escaliers à deux rampes droites, la moulure des marches ne retournant pas sur la face extérieure du limon.

149. Supposons (fig. 238) que le rectangle ABCD soit le plan de la cage de l'escalier ; on fera d'abord les calculs suivans pour établir la hauteur, le giron et la longueur des marches :

Connaissant la hauteur de l'étage auquel l'escalier doit monter, on divisera cette hauteur par 16 centimètres, pour connaître le nombre des marches, qui sera le quotient entier le plus approché en excès ou en défaut. Si le quotient est exact, les marches auront 16 centimètres de hauteur, sinon, on aura cette hauteur, en divisant celle à laquelle l'escalier doit monter, par le nombre des marches, et le quotient approché jusqu'aux millimètres sera la hauteur demandée.

Connaissant la hauteur des marches, on en aura le giron, et on décomposera le nombre de ces marches en deux parties égales, ou ne différant entre elles que de l'unité, si cela est possible : ces parties indiqueront le nombre des marches des deux rampes. Si ces deux nombres de marches ne sont pas égaux, on fera en sorte que la première rampe soit celle qui en ait le plus, à moins que des circonstances particulières ne s'y opposent.

Cela posé, de la profondeur AD de la cage de l'escalier, on retranchera autant de fois le giron que la seconde rampe aura de marches, et on partagera le reste en deux parties qui seront les largeurs DG, AF des paliers. S'il résultait de là que les paliers fussent un peu étroits, on diminuerait le giron des marches, ou l'on mettrait une marche de moins, en augmentant la hauteur de chacune.

Etant arrêté sur ce point, on menera les droites GH, FE parallèles à AB, et de manière que les distances DG, AF soient égales à la largeur qu'on voudra donner aux paliers. On menera ensuite les droites *po*, *qn* parallèles à AD et BC, et à une distance égale à DG : les droites *qm*, *ck* seront les projections horizontales des faces intérieures du limon. Les droites *bf*, *rh*, qui sont celles des faces extérieures de ce limon, seront, bien entendu, parallèles à *ck*, *qm*, et à une distance de ces dernières, égale au 12e. de la longueur Go des marches. On cherchera les centres *i* et *a* des arcs de cercle *klm*, *fgh*, *rd* et *ce*, de manière que ces arcs de cercle soient tangens aux droites *ck*, *qm*, *rh* et *bf*, et en même temps aux droites GH, IK, LM et FE, et on aura les projections horizontales des faces et du contour du limon. Cela fait, on prendra une ligne de terre RS parallèle à AD; on prolongera les droites HG, KI, ML, EF indéfiniment vers Q et N; parallèlement à RS, on menera *uv*, *zw* à des distances respectivement égales à la hauteur du premier palier et à celle du second; on menera les droites *xy*, *ts* parallèles à *uv*, *wz*, et à une distance égale à l'épaisseur qu'on voudra donner aux paliers, épaisseur qui ne pourra pas être moindre qu'une hauteur de marche; on menera encore les droites UV, TX parallèles à *ts*, *xy*, et en contre bas de ces dernières de 1 à 2 cent., pour que le limon se dessine en dessous de l'escalier, et par les points U et X (et non par ceux V et T), on me-

25

nera la droite UX, qui sera la projection verticale du dessous du limon. Ensuite, parallèlement à UX, on menera la droite NQ à la distance qu'on jugera convenable, laquelle sera la projection verticale du dessus du limon. Il resterait à expliquer la manière d'obtenir les courbes $i'T$, i^2P, Va' et Oa^2; mais je laisse au lecteur le plaisir de trouver lui-même la méthode à suivre, ce qu'il fera sans peine, en considérant que les arêtes de dessus et de dessous du limon, dont les projections horizontales communes sont les quarts de cercle *ml*, *lk*, sont de véritables quarts d'ellipse, situés dans des plans contrairement inclinés, mais d'un même nombre de degrés par rapport au plan horizontal; de telle sorte que ces deux quarts d'ellipse sont tellement situés l'un à l'égard de l'autre dans l'espace, qu'ils forment une courbe régulière continue et tangente aux arêtes rectilignes et correspondantes du limon. Il considérera de plus que les surfaces de dessus et de dessous du limon, seront engendrées par une droite de niveau, qui glissera sur les quarts d'ellipse dont nous venons de parler, et tournera autour d'une verticale élevée par le centre *i*.

La projection verticale du limon de la seconde rampe de l'escalier étant obtenue, on tracera le profil des marches comme on le voit fait en lignes ponctuées dans cette projection verticale, de manière que les arêtes supérieures du devant de ces marches se trouvent toutes sur une même droite parallèle à NQ. Ayant obtenu le profil des marches, il sera facile d'en avoir la projection horizontale, ainsi qu'on le voit dans l'épure.

Pour avoir la projection verticale de la première rampe, on décrira d'abord celle $o^2o'l'g'g^2l^2n'n^2$ du premier palier, parfaitement comme pour la seconde rampe; puis on menera, par les points l', l^2, les droites $l'r'$, l^2q', de manière qu'elles fassent, avec la ligne de terre, le même angle que la droite NQ ou UX fait avec RS; on tracera le profil des marches d'après la même condition que pour la seconde rampe, et on obtiendra leur projection horizontale ainsi qu'on le voit dans l'épure.

Pour achever de faire concevoir la forme de cette espèce d'escaliers, nous avons joint, à l'épure, la vue géométrale de face (fig. A), et celle prise en sens contraire (fig. B). Dans la première, on voit le devant des marches de la première rampe, et le dessous de celles de la seconde. Il est important d'observer que les projections horizontales des intersections des surfaces planes en dessous sont et doivent être les droites GH et FE. Ces arêtes intersections doivent rester franches et bien dressées, et non être arrondies comme on le pratique presque toujours, ce qui, suivant moi, produit un mauvais effet.

Maintenant, voici de quelle manière on disposera les différentes parties de

cette espèce d'escaliers, pour qu'il en résulte une solidité convenable.

On disposera d'abord une forte pièce de bois 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, qui sera scellée, par les deux bouts, dans les murs AD, BC, au niveau du premier palier, et une autre 9, 10, 11, 12, 13, 14, scellée de même au niveau du palier d'arrivée. La forme de la première, qui fera en entier la marche palière et la partie arrondie du limon, est représentée en partie par la figure C. La seconde, qui fait aussi la marche palière et tout le limon du dernier palier, est représentée renversée par la fig. F. Ces deux pièces de bois prennent le nom de *quartiers tournant*. Les limons droits, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure, s'assemblent, par des joints à endents et tenons et mortaises, dans les quartiers tournant. Quant aux marches, elles peuvent être massives, ou formées de planches, comme pour les escaliers à rampes courbes, ainsi qu'on le voit figuré, soit dans les projections verticales des rampes, soit, en perspective, dans la figure D. On voit en projection horizontale et dans la projection verticale (fig. B), que les paliers sont formés par des solives scellées, d'un bout, dans les murs, et, de l'autre, dans le derrière des quartiers tournant. La fig. E montre l'un de ces quartiers tournant vu par derrière, où l'on voit figurées les mortaises *a a*, dans lesquelles les solives, formant les paliers, viennent s'assembler.

Des Escaliers à deux rampes droites, la moulure des marches retournant sur la face extérieure du limon.

150. Cette espèce d'escaliers, dont la figure 239 offre un exemple, est presque en tout semblable à la précédente, car elle n'en diffère qu'en ce qu'ici le limon est entaillé par-dessus pour recevoir les planches qui forment le dessus des marches, et que ce limon n'est point arrondi vers les quartiers tournant. Il y a encore cette différence, que, dans l'espèce dont il s'agit maintenant, en faisant la projection verticale de la seconde rampe, il faut que la droite *bc*, qui est le dessous de cette rampe, passe par les points *b* et *c*, et non par les points *a* et *d*, comme dans l'espèce précédente. Cela est nécessaire pour que la partie du limon, dont la projection horizontale est *efgh*, reste plane et horizontale en dessus.

En conséquence de cette uniformité dans les deux espèces, il suffira au lecteur d'examiner avec attention la figure 239, et d'y appliquer ce qui vient d'être dit au numéro précédent, pour comprendre cette dernière espèce d'escaliers. Si l'on voulait que le limon fût arrondi vers les quartiers tournant, comme cela se pratique le plus ordinairement, il y aurait encore moins de différence entre cette espèce d'escalier et la précédente, car alors

toute la différence serait dans la partie supérieure du limon, tout le reste devant être disposé parfaitement comme il a été expliqué dans le numéro précédent.

Des Escaliers à trois rampes, la moulure des marches ne retournant pas sur la face extérieure du limon.

151. Supposons que ABCD (fig. 240) soit le plan de la cage de l'escalier; après avoir déterminé le nombre des marches, leur giron, et leur hauteur, comme il a été dit au numéro 149, on s'arrangera de manière que les distances *ab*, *bc* soient chacune égale à un nombre complet de girons, et de telle sorte que la somme des nombres des girons, contenus dans ces deux distances, soit telle, qu'en la retranchant du nombre total des marches, le reste, qui sera le nombre des marches de la première rampe, ne soit ni trop grand ni trop petit, pour que le départ de cette première rampe ne sorte pas trop de la limite qu'on lui aura assignée d'avance, suivant le besoin de la circonstance. La détermination des lignes *ab*, *bc* ne pourra s'obtenir que par tâtonnemens. S'il résultait de là que les longueurs égales *b*E, *b*H, *c*I, *c*F,..., des marches fussent trop petites, il n'y aurait pas de meilleur moyen que de diminuer la grandeur des girons : on pourrait aussi diminuer le nombre des marches en même temps que la grandeur des girons; mais il faudrait éviter de rendre l'escalier trop dur à monter : il vaudrait mieux laisser les marches un peu plus courtes. C'est le plus souvent la distance *bc* qui influe le plus sur la longueur des marches; et c'est dans cet espace où l'on est quelquefois obligé de mettre une marche de moins qu'on avait prévu d'abord, que l'on fait passer dans la première ou dans la troisième rampe, quand on le peut, pour ne pas augmenter la hauteur des marches, ou que l'on supprime tout-à-fait quand il le faut absolument. Le contraire de cela arrive aussi quelquefois. Après avoir fixé les droites EF, H*a*, I*d*, comme il vient d'être dit, lesquelles sont les projections horizontales des faces intérieures des limons, on tracera celles des faces extérieures de ces limons, ainsi qu'on le voit dans l'épure, en arrondissant les angles par des arcs de cercle dont le rayon ne sera pas moindre de 16 cent., et pas plus grand que 33 cent. Cela posé, on observera que le carré *c*FCI est la projection horizontale de la face en dessous du premier palier; le carré *b*HDE celle de la face correspondante du second palier, et le rectangle G*e*BA celle du dessous du grand palier d'arrivée. Il sera facile maintenant de tracer l'épure de notre escalier; il suffira, en effet, de chercher les projections verticales *fg*, *mk* des arêtes inférieures du dessous du limon de la seconde et de la troisième rampe, ainsi que les pro-

fils des marches de ces deux rampes, en s'y prenant, pour chacune en particulier, parfaitement comme il a été expliqué au numéro 149. On déterminera de même les projections verticales qt', $n'o$ des faces supérieures des limons, et ensuite on décrira les courbes ty, tz, $t'i$, $t'h$, qx, qv, su', su, etc., qui sont les projections verticales des arêtes de dessous et de dessus des parties arrondies des limons, lesquelles arêtes sont ici de véritables hélices, excepté celles qui se raccordent avec le limon du palier d'arrivée, qui sont semblables à celles de l'espèce du numéro 149.

Pour avoir ces projections verticales, par les centres K, L, on élevera aux lignes de terre UV, XY, les perpendiculaires Kq, Lt' et TKo, qui donneront les points q, s, t', t, o, p, p^3, p^4, où les courbes demandées doivent commencer; ensuite, à partir des lignes de terre UV, XY, on marquera les horizontales yz, ih, respectivement aux hauteurs des points p^4, p^3, et les horizontales uu', vx, respectivement aux hauteurs des points p et o; on divisera la différence de hauteur de l'horizontale uu' au point s en autant de parties égales qu'on voudra, et, par tous ces points de division, on menera des horizontales; on divisera les arcs NP, MO en autant de parties égales, et par les points de division de ces deux arcs, on élevera des perpendiculaires à la ligne de terre UV, qui rencontreront les horizontales correspondantes en des points par lesquels on fera passer les courbes us, $u's$, et on se conduira de même pour les autres courbes, et l'épure sera terminée.

On remarquera le triangle mixte usf, dont la projection horizontale est NPb, qui comprend en dessous une surface distincte et d'une nature différente des autres surfaces du dessous de l'escalier. Ces surfaces triangulaires n'ont rien de désagréable à l'œil, et sont indispensables, si l'on veut que les intersections des faces planes des dessous des rampes et des paliers soient des lignes droites, ainsi que la nature des choses l'exige, et qu'en même temps la courbure du derrière du limon se dessine nettement en dessous. A chaque retour du limon, on doit concevoir un pareil triangle.

Voici maintenant de quelle manière il faut concevoir l'arrangement des morceaux de bois, pour que l'escalier soit solide et facile à exécuter.

On concevra d'abord un morceau de limon droit de d en S, qui viendra s'assembler dans un petit limon hélicoïde TQRS; un autre limon droit QRPO, qui viendra s'assembler à tenons et mortaises dans le même limon hélicoïde QRST, et dans un autre limon hélicoïde OPNM, qui recevra un troisième limon droit, arrondi à son extrémité supérieure, par laquelle extrémité il viendra s'assembler dans la marche palière du palier d'arrivée, laquelle marche palière formera le limon du palier, et sera scellée par les

deux bouts dans les murs AD, BC. On taillera et l'on tracera les limons hélicoïdes, comme il a été expliqué pour les escaliers à rampe courbe.

Imaginons maintenant que les limons soient assemblés, et maintenus provisoirement en place comme si l'escalier était fini; il ne restera plus qu'à poser les marches, qui seront scellées par un bout dans les murs, et assemblées dans le limon au moyen d'entailles et tenons, et de réunir le limon au mur par des boulons de distance en distance, pour que l'escalier soit achevé. Les marches seront massives, comme on le voit dans l'épure, ou bien formées de planches, comme il a été dit précédemment. L'inspection de l'épure explique les détails que nous avons laissés sous silence.

Escaliers à trois rampes droites, la moulure des marches retournant sur la face extérieure du limon.

152. Cette espèce d'escaliers, dont la figure 241 donne un exemple, est parfaitement semblable à la précédente, sauf le limon qui est ici entaillé pardessus, pour recevoir les dessus des marches; aussi nous n'en donnerons aucune explication, si ce n'est que nous ferons observer qu'ici le limon ne doit pas être arrondi aux encoignures, parce que cet arrondissement produit un étranglement dans la tête des marches, ainsi qu'on le voit d'un côté de la projection horizontale de l'épure (fig. 241), qui gêne pour la pose des barreaux de la rampe en fer. Dans le cas où l'on n'arrondit pas les encoignures des limons, on interpose en ces endroits des patins évidés à angles droit, qui remplacent les limons hélicoïdes de l'espèce précédente. L'épure explique assez d'elle-même tout le reste.

Des Escaliers mixtes, la moulure des marches retournant ou non sur la face extérieure du limon.

153. Supposons que la figure hémicycle ABCDE (fig. 242) soit le plan de la cage de l'escalier; on pourra disposer cet escalier de manière que d'abord le départ de l'escalier soit à rampe droite jusqu'au rayon FD; à rampe courbe dans l'étendue du demi-cercle DCB, et à rampe droite, depuis le rayon FB jusqu'à l'arrivée de l'escalier. De là on voit que l'escalier participera à la fois, et des escaliers à rampes droites, et de ceux à rampes courbes. Je pense que, d'après ce qui précède sur les escaliers, il suffira au lecteur de considérer avec soin l'épure de la figure 242, pour entendre ce genre d'escaliers. On voit dans cette épure, que la moulure des marches retourne sur la face extérieure du limon.

Dans la figure 243, on voit l'épure d'un escalier semblable du côté du li-

mon, sur la face extérieure duquel la moulure des marches ne retourne pas, mais dont le plan de la cage est rectangulaire. Dans ce cas, la surface du dessous de la partie dont le limon est courbe, n'est pas, comme dans l'exemple précédent, une surface hélicoïde, mais une surface engendrée par une ligne droite, qui glisse sur l'arête hélice du dessous du limon, et sur des lignes droites, qui sont les intersections de cette surface avec les faces intérieures des murs de la cage. Ces lignes droites se tracent presque arbitrairement; il suffit, en les traçant, de laisser, par rapport au dessus des marches, une épaisseur suffisante. Les projections verticales de ces droites directrices sont AB, CD et EF. On observera que, pour tracer la droite EF, il faudra faire la hauteur GF égale à HB, et la hauteur IE égale à HC. Lorsqu'on ne détermine pas ainsi en ligne droite les intersections de la surface du dessous de l'escalier avec les faces intérieures des murs de la cage, ces intersections deviennent des lignes courbes sinueuses qui me paraissent contraires au bon goût. Du reste, l'épure s'explique assez d'elle-même, d'après ce qui précède.

Dans l'exemple de la figure 244, qui est presque semblable au précédent, on voit en projection horizontale, que toutes les marches sont disposées obliquement, pour que leurs têtes, qui répondent au demi-cercle *abc*, ne soient pas trop petites; de sorte qu'aucune marche ne tend au centre de ce demi-cercle. On s'arrangera ici comme dans l'exemple précédent, pour que les intersections de la surface de dessous avec les faces intérieures des murs de la cage soient des lignes droites, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure, dont l'inspection attentive suffira au lecteur pour entendre ce genre d'escaliers qui est le plus incommode et le plus désagréable sous le rapport de la forme.

23me. LEÇON.

Des Cintres en charpente, pour soutenir les voûtes en pierres de taille ou en moëlons, etc., pendant le temps de leur exécution; et des Échafaudages.

154. Le principe qui doit servir de base à la construction des cintres, est que les bois soient disposés de manière que le cintre ne puisse changer de forme à mesure que l'on pose les assises de la voûte; car on conçoit que si sa forme pouvait varier, celle de l'intrados de la voûte en serait alté-

rée. Les exemples qui suivent suffiront pour faire entendre ce genre de construction en charpente.

1°. Lorsqu'il s'agit d'une arcade ordinaire, de 2 ou 3 mètres de diamètre, on se contente de poser une solive horizontale *ab* (fig. 245), soutenue par deux étais *cd*, *ef* à ses extrémités, sur laquelle on incline, en sens contraire, deux autres solives *gh*, *ki*, qui se joignent au sommet de la voûte, ou qui s'assemblent dans un poteau *lm*, entaillé à demi-épaisseur en *n* avec la solive *ab*. Ensuite le maçon pose à plâtre quelques moëlons sur les solives inclinées *gh*, *ik*, par dessus lesquels il fait un enduit en plâtre, suivant la courbure du cintre d'intrados de la voûte, en laissant une distance en contre bas pour pouvoir mettre des calles sous les douëlles des voussoirs. On remplace quelquefois ces moëlons par deux morceaux de bois taillés, par dessus, suivant la courbure du cintre.

Si l'épaisseur du mur n'a que $0^m.50$, il suffira d'un seul cintre; mais si cette épaisseur était plus grande, il en faudrait deux en face l'un de l'autre, et à 10 cent. en arrière des faces du mur. Et s'il s'agissait d'un berceau plus allongé, la courbure du cintre en charpente serait une parallèle au cintre de l'intrados de la voûte, décrite à une distance de 8 à 15 ou 16 cent., plus ou moins, pour laisser passer des chevrons ou solives, qu'on appelle *couchis*, et des coins sous les couchis qui viendraient poser sur les cintres de charpente : on écarterait alors ces cintres les uns des autres, environ de 2 à 3 mètres, suivant que les circonstances l'exigeraient.

2°. Quand le berceau ou l'arcade est d'un plus grand diamètre, et que sa construction est plus lourde, on peut disposer la charpente comme la figure 246 l'indique. Dans ce cas, on disposera, d'ailleurs, les choses comme nous venons de le dire pour le premier exemple, suivant que les circonstances l'exigeront.

3°. La figure 249 offre un exemple de cintre pour des arcades ou berceaux de même diamètre que le précédent. On voit qu'ici le cintre s'appuye sur deux pièces de bois *c* et *d*, posées horizontalement sur les dernières pierres des jambages formant encorbellement, et que les diverses pièces de bois du cintre sont reliées ensemble par une moise horizontale *ab*.

4°. La figure 247 présente un système plus solide, et qui, par conséquent, peut servir de cintre à une arcade ou berceau d'un plus grand diamètre.

5°. L'exemple représenté par la figure 248, ne vaut pas beaucoup mieux que le précédent, quoiqu'il y ait plus de bois.

6°. La figure 250 présente un autre bon système de cintre, pour des berceaux d'assez grand diamètre.

7°. Le système de la figure 251 est tout différent de ceux qui précèdent; il peut avoir son emploi dans les voûtes des grands édifices.

8°. La figure 252 offre un très-bon système de cintre pour les arches de pont. Cette disposition de triangles reliés les uns aux autres, formés par les pièces de bois, est le vrai principe de ce genre de construction. On voit que les exemples des figures 253 et 254 sont dans le même esprit.

9°. Les dispositions qu'indiquent les figures 255, 256 et 257, sont d'un genre qui exige de plus longues pièces de bois, et sont, par conséquent, plus susceptibles d'éprouver des inflexions.

Nous pourrions fournir encore un plus grand nombre d'exemples de cintres, si cela était nécessaire, et les choisir, comme les précédens, parmi ceux qui ont été exécutés, mais nous pensons que ceux qui précèdent sont suffisans pour faire entendre ce genre de construction.

Dans ce qui précède sur les cintres, nous n'avons entendu parler que de ceux des arcades, des berceaux et des arches de pont; pour les cintres des autres espèces de voûtes, on les fera à peu près comme nous l'avons expliqué pour la construction des mêmes espèces de voûtes en bois, en fortifiant les courbes principales, si les circonstances l'exigent, par des triangles inscrits, comme on vient de le voir, dans les cintres des berceaux.

Des Echafaudages.

155. Comme la forme et la disposition des échafaudages dépendent presque entièrement de la forme et de la disposition de l'édifice à la construction desquels ils doivent servir, et que d'ailleurs ce genre d'ouvrages de charpente n'offre pas de grandes difficultés, nous ne nous étendrons pas beaucoup sur ce sujet : nous nous contenterons de donner :

1°. L'élévation de face et celle de profil (fig. 258), de l'échafaudage qui a servi à la construction du portail St.-Gervais, à Paris.

2°. Le quart du plan (fig. 261), la coupe (fig. 259), suivant AB du plan, et celle (fig. 260), suivant AC du même plan de l'échafaudage qui a servi à l'exécution du dôme de l'église Sainte-Geneviève. Ces deux exemples m'ont paru les plus propres à donner une idée convenable des échafaudages fixes. Les dessins qui les représentent me semblent assez clairs d'eux-mêmes pour me dispenser de les expliquer.

Nous ajouterons encore:

1°. Le plan (fig. 263) et l'élévation (fig 262) d'un échafaudage roulant sur le sol au moyen de gallets *aa* ;

2°. Le plan (fig. 265) et l'élévation (fig. 264) d'un autre échafaudage roulant sur une plate-forme de bois soutenue en l'air par des potences en fer, scellées dans les murs opposés d'une salle rectangulaire.

3°. Les deux vues géométrales (fig. 266 et 267), et le plan, plus en grand (fig. 268), d'un troisième échafaudage roulant, comme le premier, sur le sol, et où l'on voit des échelles de meûnier pour monter à la hauteur qu'on veut atteindre.

Tous ces échafaudages roulans doivent être légers, et, par conséquent, ne peuvent servir qu'à donner la facilité de faire des ravalemens, de la sculpture, ou de la peinture, etc.

Les échafaudages fixés doivent avoir une solidité proportionnée à la pesanteur des matériaux qu'on doit déposer dessus, et être construits de manière à éviter tout mouvement d'oscillation, pour que les ouvriers puissent manœuvrer avec une parfaite sécurité. On atteindra à ce but, en employant des pièces de bois de grosseur bien proportionnées, en reliant toutes ces pièces les unes aux autres par des boulons et des moises disposées avec intelligence. Pour que les pièces principales puissent, après la démolition de l'échafaudage, servir ailleurs sans perte considérable, il faut qu'aucune d'elles ne reçoive ni entaille, ni mortaise, ni trou de boulon, de manière que les moises seules soient endommagées; ce qui est presque toujours possible quand on dispose bien les choses.

Nous terminerons là la charpente de bâtiment, attendu que les machines propres à élever et transporter les grands fardeaux, celles qui servent à battre et à arracher les pieux, ainsi que les grillages de charpente pour établir les fondations des édifices, sont des ouvrages qui appartiennent aussi bien à la charpente hydraulique qu'à celle que nous terminons ici. Pour ne pas éloigner les choses qui doivent se suivre, et passer d'un genre de charpente à l'autre par degrés insensibles, nous allons commencer la section suivante par les machines dont il vient d'être parlé.

ou d'un trou pratiqué dans un échafaudage situé à une certaine hauteur, par lequel doit s'élever un fardeau au moyen d'un cabestan. Voici comment on pourra construire ce cabestan.

Sur le sol ou sur l'échafaudage on établira un carré *abcd* formé par quatre solives *ab*, *dc*, *ad* et *bc*, assemblées à tenons et mortaises vers les points *a*, *b*, *c*, *d*, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure; sur les milieux *o*, *p* des solives *ab*, *dc*, on assemblera, à tenons et mortaises, deux poteaux dont les projections verticales de face et latérales sont *ik* et BC, DE, sur les têtes desquels on pratiquera deux entailles demi-cylindriques dans lesquelles viendront tourner les deux bouts d'un cylindre de bois disposé horizontalement, qu'on appelle *treuil*, sur lequel le câble qui est attaché au fardeau s'enroule.

On maintient ces poteaux par des contre-fiches dont les projections verticales sont *eg*, *fh*, qui s'assemblent par le bas dans les mêmes solives du cadre ou patin que les poteaux. Vers les bouts du treuil, on ménage le bois pour former deux parties prismatiques à base carrée, dans lesquelles on pratique deux trous qui traversent l'épaisseur du treuil, se croisent à angle droit, et servent à passer des leviers destinés à mettre le treuil en mouvement. Pour que ces leviers ne fassent pas fendre le treuil, qui d'ailleurs doit être en orme ou en charme, on enveloppe les parties carrées du treuil par des liens en fer posés à chaud et avec force, que l'on maintient en place au moyen de quelques vis, quand on le croit nécessaire.

2°. La figure 270 est l'épure d'un cabestan qui se trouve dans les mêmes circonstances que le précédent, mais construit un peu différemment. D'abord on voit qu'en effet le treuil au lieu d'être armé de leviers, il l'est de deux roues dans le limbe jante desquelles sont plantées de longues chevilles qui dépassent de chaque côté d'environ 30 à 35 centimètres, que des hommes saisissent avec les mains pour faire mouvoir la machine. On remarquera, en second lieu, que les contre-fiches qui maintiennent les poteaux qui portent le treuil sont assemblées dans les solives *ab*, *dc*, plus près des pieds de ces poteaux que dans le premier exemple, pour éviter qu'il se trouve deux mortaises au même endroit des solives *ab*, *dc*, ce qui les affaiblit mal à propos. De plus, dans le premier exemple (fig. 269), les poteaux ne sont maintenus d'à-plomb, dans un sens, que par les tenons du bas, de sorte qu'ils pourraient s'écarter par en haut, et laisser échapper le treuil et la charge; c'est pour cela que dans la figure 270 ces poteaux sont maintenus chacun par une troisième contre-fiche dont les projections sont *mn*, FG, qui s'assemblent par le bas à tenons et mortaises dans des morceaux de solives qui s'assemblent elles-mêmes dans les solives *ab*, *dc* du patin, ainsi qu'on le voit en projection

horizontale. Dans cet exemple, on pourrait ne mettre qu'une roue si le fardeau à élever n'était pas très-considérable. La construction de ces roues est trop facile à comprendre dans l'épure, pour que nous ayons besoin de l'expliquer.

3°. Les deux exemples de cabestans que nous venons de donner pourraient servir à mouvoir un fardeau horizontalement ou sur un plan incliné, en fixant solidement en terre une poulie de renvoi à l'à-plomb du treuil ; mais dans ces deux cas on se sert plus communément d'une autre espèce de cabestans dans lesquels le treuil est disposé verticalement, ainsi qu'on le voit dans les figures 271 et 272. J'imagine que ces deux épures expliqueront d'elles-mêmes la manière de construire ce genre de cabestans, qui, comme le premier genre, mais au moyen de deux poulies de renvoi, pourrait servir à élever des fardeaux verticalement.

Des Chèvres.

4. On appelle *chèvre*, une machine telle que celle représentée par la figure 273, qui se compose simplement de deux solives *ab*, *cd* d'un équarrissage proportionné à la hauteur de la chèvre ; d'un certain nombre de traverses *ik*, *lm*, *no*, portant un long tenon à chaque bout qui traverse l'épaisseur des deux solives qui forment les montans de la chèvre, et est percé d'un trou rond dans lequel on fait passer une clavette en fer qui presse les montans de manière à les rapprocher l'un de l'autre, en les poussant contre les épaulemens des tenons des traverses ; et d'un treuil *gh* qui tourne dans les montans ou *bras* de la chèvre, sur lequel s'enroule la corde ou câble qui passe sur une poulie dont l'axe *bd* traverse les deux bras de la chèvre. Cet axe de la poulie est à tête d'un bout, et est percé de l'autre bout d'un trou allongé dans lequel passe une clavette à deux branches qui font ressort, afin que cette clavette ne tombe pas pendant que la poulie tourne. Les bras de la chèvre posent sur la terre ou sur un échafaudage par leurs bouts inférieurs, se joignent en haut, l'un contre de l'autre, et sont traversés par une clavette en fer *ef* de 0 m. 50 de longueur environ, autour de laquelle et de la tête de la chèvre on fait passer les nœuds de trois cordes qu'on nomme *aubans*, que l'on attache à trois points fixes quelconques dont deux situés derrière la chèvre à l'opposé du fardeau, et l'autre devant ; ces trois aubans suffisent pour maintenir la chèvre debout, et un peu penchée vers le fardeau. Cette chèvre est celle dont l'usage est le plus généralement répandu, surtout dans la construction des bâtimens.

5. La figure 274 représente une autre espèce de chèvre, dont la hauteur peut être beaucoup plus considérable que celle de la première, la tête étant formée par une solive qui passe entre les bouts supérieurs des bras. Dans cet exemple on voit que le treuil *a* est armé d'une roue, et son axe tourne dans deux montans *b*, *c*. On peut disposer le treuil de cette manière dans les chèvres ordinaires. Les aubans de la chèvre figure 274 s'attacheraient en *e* au-dessous de la poulie *d*.

6. La figure 278 offre le plan, l'élévation de face et l'élévation latérale d'une autre espèce de chèvre montée sur un patin ou châssis de charpente, qui n'a pas besoin d'aubans pour tenir debout, pourvu que l'on charge le patin de manière que le fardeau ne puisse faire culbuter la machine. On voit qu'ici la tête de la chèvre ou de l'*engin* est formée par un chapeau moisé, et que le câble passe sur deux poulies, soutenues par ce chapeau. Le treuil est ici armé de leviers, mais on pourrait l'armer d'une roue, comme dans la figure 274.

7. La figure 279 présente le plan et les deux élévations d'une quatrième espèce de chèvre qui a trois bras ou trois pieds, ce qui dispense d'aubans, et exige trois points d'appui.

8. Les figures 275, 276 et 277 sont les élévations et le plan d'une double chèvre susceptible d'élever de très-grands fardeaux.

Je crois les épures suffisamment claires pour pouvoir me dispenser d'expliquer ces machines dans tous leurs détails. La manière de tracer les morceaux de bois ne saurait maintenant embarrasser le lecteur qui a bien suivi ce qui précède sur la charpente en général.

Des Grues.

9. Les grues sont des machines plus propres à la charge et à la décharge des vaisseaux et des bateaux qu'au service de la construction des édifices. Cependant on en a fait usage pour quelques monumens, tels qu'à la construction des écoles de médecine, etc., et particulièrement à celle de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, où il y en a eu jusqu'à sept en activité, d'après le rapport de M. Rondelet, qui regarde ces machines comme étant d'une invention moderne.

La figure 278 est l'élévation latérale et la projection horizontale d'une grue qu'on avait fait faire pour la construction des quatre piliers du dôme de cette église, qui avait 31 pieds $\frac{1}{2}$ de volée sur 73 pieds de hauteurs; « on » l'avait placée au centre de ce dôme, dit M. Rondelet, dans l'espérance » qu'elle pourrait faire le service des quatre piliers, des arcs et de la tour au-

» dessus; mais on fut bientôt obligé d'y renoncer, parce que l'effort contre » le poinçon était si considérable, qu'à peine pouvait-elle porter deux mil- » liers, encore fallait-il qu'elle fût chargée sur la queue de 7 à 800..... Ce- » pendant cette grue était très-bien faite et bien conditionnée; mais l'artiste » qui l'avait imaginée n'avait pas calculé l'effort prodigieux qui devait résul- » ter d'une aussi grande volée. »

Il résulte de ce fait, que ces machines ne sont pas sans inconvénient dans leur emploi, et qu'il ne faut s'en servir que très-rarement dans la construction des édifices, que dans des cas particuliers très-rares. Cependant nous allons faire la description de quelques exemples de ces machines, pour ne pas laisser une lacune dans ce Cours de Charpente, que nous voulons rendre aussi complet qu'il nous sera possible, sans pourtant sortir des bornes que nous devons nous prescrire.

10. Une grue ordinaire se compose d'un arbre ou poinçon vertical *ab* (fig. 278 et 279), fixé sur un cadre ou châssis de charpente qui fait le pied de la machine, et maintenu, dans sa position verticale, par des contre-fiches marquées *c*. Ce poinçon est terminé par le haut, par un pivot de métal, sur lequel la machine tourne et peut faire une révolution entière. Une poutre ou un composé *ef* de plusieurs morceaux de bois, comme dans les figures en question, porte, à un certain point de sa longueur, une crapaudine *d* pour recevoir le pivot de l'arbre, et former le point d'appui de la grue. Cette poutre, qu'on appelle le *bec* ou le *col* de la machine, est maintenue sur le pivot par des moises disposées comme les figures 278 et 279 le font suffisamment voir; elle porte à son extrémité supérieure une poulie dans laquelle passe le câble qui soulève le fardeau. Ce câble passe sur d'autres poulies, disposées comme on le voit dans les deux figures, et vient s'entortiller sur un treuil *g*, suspendu comme on le voit à la partie inférieure de la poutre qui fait le col de la grue. Ce treuil est mis en mouvement par une roue soit à tambour, soit à chevilles, soit à la fois à tambour et à chevilles, ou bien par un engrenage quelconque, mu par le moyen d'une manivelle. Quand le fardeau est arrivé à la hauteur voulue, on fait tourner la grue sur son pivot, jusqu'à ce que ce fardeau soit sur la verticale élevée du lieu où il doit être déposé. Telle est à peu près la manière dont toutes les grues ordinaires sont faites; mais je crois faire plaisir au lecteur en rapportant ici les résultats des observations que M. Rondelet dit avoir faites sur les grues employées à l'église de Sainte-Geneviève, pendant qu'il en dirigeait la construction.

11. « Chargé, depuis plus de trente-six ans, de diriger les constructions » de cet édifice, j'ai, dit-il, eu occasion de faire, sur le service de ces ma-

» chînes, beaucoup d'observations, desquelles il résulte, 1°. que pour qu'une » grue ordinaire ait la solidité convenable, il ne faut pas que son bec ou vo- » lée éloigne le fardeau de plus des deux cinquièmes de la hauteur totale de » cette grue.

» 2°. Que la partie du poinçon emmanchée dans la charpente mobile, » formant bec de grue, doit être au moins de la moitié de la volée, c'est-à- » dire de la moitié de la distance du câble, qui soutient les fardeaux, au cen- » tre du poinçon.

» 3°. Que cette partie du poinçon doit être taillée en cône tronqué, dont » la grosseur, par le bas, doit être d'autant de pouces que la volée a de » pieds, et celle du haut de moitié.

» 4°. Soit que la grue agisse par le moyen d'une roue à tambour ou à » chevilles, l'éloignement du centre du poinçon à cette roue doit avoir les » deux tiers de la volée.

» 5°. Le diamètre de l'une ou l'autre de ces roues doit être douze fois » plus grand que celui du treuil sur lequel le câble s'entortille.

» 6°. La grandeur du patin (pied de la grue) doit être les deux tiers de la » volée. »

» Quoique les grues ordinaires, proportionnées de cette manière, soient » celles dont le service est le plus avantageux, elles ont cependant deux in- » convéniens principaux. Le premier est que le fardeau, suspendu à l'extré- » mité du bec, agit avec une force qui exige une charpente très-forte et très- » pesante, qui augmente l'effort du fardeau contre le poinçon; il est si consi- » dérable, que j'ai vu des poinçons de 18 pouces de grosseur, se rompre par » un fardeau de trois milliers, suspendu à l'extrémité du bec de la grue.

» Le second inconvénient est que la volée étant déterminée, ne peut être » d'un bon usage que pour un seul cas; dans tous les autres, elle se trouve » ou trop grande ou trop petite, de manière qu'il faut presque toujours tirer » le fardeau pour le mettre en place; ce qui augmente tellement l'effort » contre le poinçon, que c'est ordinairement dans ces circonstances qu'il se » casse, etc. »

Ces inconvéniens ont suggéré à M. Rondelet l'idée de composer lui-même une nouvelle grue, qui, comme on va le voir par la propre explication de l'auteur, a le défaut d'être un peu compliquée dans son mécanisme, ce qui ne l'empêche pas d'avoir de grands avantages sur celles ordinaires. En voici la description, mot à mot.

« Les dimensions des grues exécutées pour le dôme du Panthéon, ont » été combinées pour la place et le service qu'elles avaient à faire; mais

» elles sont susceptibles de dimensions plus ou moins grandes, en raison » des circonstances.

» Leur hauteur totale est de 36 pieds, leur plus grande volée est de 18 » pieds et la plus petite de 9 pieds, en sorte qu'on peut faire décrire au » fardeau des arcs de cercle depuis 9 pieds de rayon jusqu'à 18.

» La charpente mobile qui porte la volée est composée d'un double assem- » blage de pièces. Les deux grandes posées debout, désignées sur les figures » 282, 283 et 284, par le chiffre 5, sont appelées jumelles. C'est entre ces » pièces que s'ajuste le poinçon 1, de manière à lui laisser assez de jeu pour » qu'elles ne puissent pas frotter en tournant. Comme la partie arrondie de » ce poinçon va en diminuant, l'intervalle entre ces jumelles est plus rap- » proché par le haut que par le bas. Ces jumelles sont réunies dans leur lon- » gueur par trois entretoises 6, 6, 6.

» La plus basse porte en dessous une forte crapaudine en fer fondu, qui » reçoit le pivot du poinçon sur lequel porte toute la partie mobile de la » grue. Par le bas, les jumelles sont assemblées dans une plate forme 9, » formant moise, percée d'un trou rond qui embrasse le poinçon par le » bas de la partie arrondie, à l'endroit où se fait le plus grand effort. Pour » adoucir le frottement, on a garni la partie du poinçon qui répond au trou » rond de cette moise, d'une bande de cuivre formant cercle, qui rend le » mouvement extrêmement doux et égal.

» Par le haut, les deux jumelles sont assemblées dans une pièce 8, appe- » lée chapeau; elles sont embrassées aux deux cinquièmes de leur hauteur » par une moise 7 qui porte la roue et un des bouts du treuil, par le » moyen d'une plate-forme pendante 13, affermie par le haut par deux » liens. L'autre bout est soutenu par deux poteaux 12, assemblés avec la » moise du bas 9 et la grande moise 7.

» Au-dessous de cette grande moise sont quatre grands liens 11, qui s'as- » semblent par le bas dans les jumelles 5, et au-dessus quatre contre-fiches » 10, pour contrebutter les jumelles par le haut et les maintenir d'à-plomb.

» La volée est formée par une pièce de bois 15, arrêtée par le bas au- » devant du poinçon, sous la grande moise, par un fort boulon autour du- » quel elle est mobile. Ce boulon est soutenu par deux tasseaux entaillés » dans les jumelles, et retenu par un étrier de fer qui les embrasse. Cette » volée est garnie par le haut (fig. 285) d'une poulie de fonte *a* de deux » pieds de diamètre, portant d'un côté une roue de fer à dents de scie, afin » de pouvoir l'enrayer lorsqu'on veut rendre la volée mobile; pour cela, » on a adapté, au-dessus de la poulie, une espèce de levier double *b*, mobile

» autour d'un boulon *c*, qui est au tiers de sa longueur. A ce levier est » adapté une pièce de fer aplatie d'un bout *d*, pour presser le câble sur la » poulie, et portant de l'autre une dent pour s'engrener en même temps » avec la roue dentée, en sorte que, si la grande roue du trueil agit, elle » fera monter ou baisser la volée avec le fardeau (*).

» Le petit levier qui enraye ou qui désenraye la poulie, agit par le moyen » de chaînes arrêtées à ses deux bouts, et qui passent sur des poulies enfi- » lées dans le même boulon que la volée. Une de ces chaînes vient s'entor- » tiller sur un petit cylindre où elle est arrêtée. On fait bander la chaîne » par le moyen d'un poids suspendu à l'extrémité d'un levier planté dans » le cylindre; alors la poulie et le câble s'enrayent.

» On arrête la volée au point où l'on veut, par le moyen d'une forte cré- » maillère de fer posée sur une pièce de bois 16 (fig. 282), attachée d'un » bout à la volée, aux deux tiers de sa longueur, par un étrier de fer » et un boulon, autour duquel cette pièce peut tourner. L'autre bout roule » sur un petit cylindre 27 (fig. 283), placé entre les jumelles, mobile » autour de son axe, pour diminuer le frottement au-dessus de la pièce » de bois qui roule sur le cylindre; aussi entre les jumelles est une espèce » de couteau ou barre triangulaire 17, qui fixe la volée en s'engrenant dans » les dents de la crémaillère. Ce couteau, qui est arrêté dans une des » jumelles par un boulon de fer autour duquel il peut tourner, agit par le » moyen d'une tringle de fer verticale 18 (fig. 284), posée en dehors de » l'autre jumelle que le manche du couteau traverse. Ce mouvement s'exé- » cute par le moyen d'un grand levier de fer 20, posé vers le bas des » jumelles, ajusté à un des bouts d'un axe horizontal qui porte à l'autre » bout une espèce de manivelle 19, évidée pour recevoir un bouton ajusté » au bout de la tringle verticale 18. Le levier se fixe par le moyen de deux » crochets *a* et *b* (fig. 282) placés sur la plate-forme dans laquelle les » jumelles sont assemblées par le bas.

» Lorsqu'on transporte le levier du crochet qui est à droite à celui qui » est à gauche, la manivelle, en tirant la tringle, fait baisser le couteau qui » s'engrène dans la crémaillère; alors la volée reste fixe, et la grue fait le » service d'une grue ordinaire.

(*) Cette manière de faire mouvoir la volée est très-dangereuse, attendu que le câble peut casser, étant pressé dans la poulie par le levier *d*. Il était facile, pourtant, d'éviter cet inconvénient grave, au moyen de la pièce de bois 16 et d'un cric fixé dans les jumelles; un homme, pour la faire agir, pouvait monter à cette hauteur, au moyen de chevilles plantées dans ces jumelles pour servir d'échelle; ce qui aurait été plus simple et plus sûr que le mécanisme imaginé par M. Rondelet.

» Lorsqu'au contraire on transporte le levier du crochet qui est à gauche » à celui qui est à droite, ce mouvement fait enrayer d'un côté la poulie de » la volée et le câble, de l'autre côté il fait lever le couteau qui était engrené » dans la crémaillère ; alors la volée devient mobile et peut hausser ou » baisser avec le fardeau, en s'alongeant ou en se raccourcissant, selon les » circonstances.

» Pour que le grand levier puisse faire mouvoir en même temps la tringle » qui lève le couteau et bander la grande chaîne pour enrayer la poulie de » la volée, on a adapté à l'axe qui porte le grand levier et la manivelle un » autre petit levier 21 (fig. 282), qui se meut entre une des jumelles et le » poinçon. Ce petit levier est lié avec un autre 22, planté dans un rouleau » ou petit cylindre dont il a déjà été question, auquel est attaché un poids » 23, pour faire bander la chaîne qui fait enrayer la poulie et le câble au » haut de la volée. Il résulte de cet arrangement, que lorsque le grand levier » est porté du crochet qui est à gauche à celui qui est à droite, le bout de » chaîne qui lie les deux leviers soulève le poids qui faisait bander la grande » chaîne, et qui devient alors assez lâche pour que le petit levier double du » haut de la volée, puisse se relever et désenrayer la poulie par le moyen » d'un petit poids suspendu à une chaîne attachée à l'autre bout de ce levier » double. Il a fallu faire agir ces chaînes qui enrayent et désenrayent la » poulie par le moyen de deux poids, parce qu'à mesure que la volée se lève, » il se développe une partie de chaîne de dessus les poulies, sur lesquelles » elles passent au bas de la pièce de bois qui forme la volée ; ce qui diminue- » rait la tension de cette chaîne, si le poids en s'abaissant ne la conservait » toujours égale et suffisante.

» Ce mécanisme, ajoute M. Rondelet, qui paraît compliqué dans une » description, s'exécute cependant avec la plus grande facilité et la plus » grande sûreté, puisqu'il ne s'agit que de transporter le levier d'un crochet » à un autre, etc. »

Cependant, dans la crainte que l'on trouve son mécanisme encore trop compliqué, M. Rondelet propose de supprimer toutes les mécaniques qui servent à rendre la volée mobile pendant qu'elle est chargée du fardeau, et de percer de trous la pièce de bois 16, pour la fixer dans les jumelles au moyen d'un boulon, et donner à la volée la hauteur que les circonstances pourraient demander, « ce qui rendrait cette nouvelle grue plus simple et moins coûteuse que les grues ordinaires et d'un meilleur service, puisqu'elle peut élever de plus grands fardeaux. » Il nous semble que la modification que nous venons de proposer dans la note au bas de la page 208, suffirait pour lever

tous les inconvéniens, sans rien faire perdre des avantages de la disposition principale de cette machine.

12. Les figures 286, 287 et 288 sont les projections de la grue dont on se sert au port St.-Nicolas à Paris, pour débarquer les pierres et les mettre sur les voitures qui les transportent dans les chantiers. On voit que cette grue est double, et qu'elle est mise en mouvement par deux grandes roues à tambour, dans lesquelles les hommes agissent en marchant. Le poinçon ou l'arbre AB de cette grue, dont la forme est conique, est scellé par le pied dans un fort massif de maçonnerie, d'une manière fixe, et la machine se trouve soutenue sur un fort pivot C, sur lequel elle fait sa révolution. Les deux roues sont fixées aux bouts d'un même treuil DD qui tourne sur des chantignoles EE, posées sur deux pièces de bois horizontales FF qui sont suspendues à deux autres pièces horizontales II, par le moyen de boulons en fer H, écroués sur les liernes KK qui tiennent l'écartement. Les pièces horizontales II sont attachées aux deux doubles becs ou cols LL par des boulons de fer pour les maintenir dans leur position, et sont supportées par une forte pièce de bois C, dans laquelle est entaillée la crapaudine qui tourne sur le pivot de l'arbre AB; de sorte que toute la machine est suspendue à ces pièces horizontales II. Les pieds des deux doubles becs viennent s'assembler sur deux pièces horizontales MM qui embrassent le bas du poinçon AB, sont maintenues parallèles entre elles par des entre-toises NN, et sont suspendues aux pièces II par les boulons OO. Pour que le poids des deux grandes roues et du treuil ne fasse pas plier les pièces horizontales FF, on les a armées de deux arbalètriers GG, auxquels elles sont attachées par les boulons EE au droit des chantignoles. Telle est la disposition principale de cette machine; les projections feront connaître les détails accessoires.

13. Les figures 289, 290 et 291 sont les projections d'une grue horizontale imaginée par M. Lamandé, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, dont on fait usage sur les ports des Sables-d'Olonne pour le déchargement des vaisseaux. Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'en donner une description, les projections étant assez clairement dessinées pour en bien faire connaître la disposition principale et les détails. On trouvera aussi cette grue dans le recueil de charpente de M. Krafft.

2me. LEÇON.

Des Sonnettes pour battre les pieux.

La théorie du battage des pieux suppose celle de la chute des corps graves; elle embrasse les connaissances nécessaires pour évaluer quel est le choc d'une masse qui tombe d'une hauteur donnée, etc. Ce n'est pas ici le lieu où nous devons nous livrer à ces considérations théoriques; pour le moment, il ne s'agit que de la construction des sonnettes, sous le rapport de la charpente. Passons donc à des exemples.

14. EXEMPLE 1. Les figures 292, 293 et 294 sont les projections de la sonnette la plus simple que je connaisse, et celle aussi dont l'usage est le plus répandu. Son pied ou patin se compose de deux pièces de bois AA, BB, dont l'une BB s'assemble à angle droit, à tenon et mortaise, dans le milieu de l'autre AA. Deux contre-fiches CC s'assemblent dans ces deux premières pièces AA, BB, pour les empêcher de varier de position, l'une à l'égard de l'autre. Sur la pièce AA s'assemblent à tenons et mortaises deux solives verticales DD, distantes l'une de l'autre de 10 à 15 cent., qui servent de conducteurs à la masse E, qu'on appelle *mouton*, par le moyen des oreilles FF de ce mouton qui passent entre les deux. Ces deux conducteurs DD doivent, en conséquence, être bien dressés à vives arêtes, et bien savonés, pour diminuer le frottement du mouton. Pour maintenir ces conducteurs DD dans la position verticale, et d'écartement l'un par rapport à l'autre, une contre-fiche GG s'assemble par en bas dans la pièce BB du patin, et passe par en haut entre les deux conducteurs, comme dans une moise, auxquels elle se trouve réunie par un boulon en fer I, qui sert en même temps d'attache à deux autres contre-fiches HH, lesquelles s'assemblent par en bas dans la pièce AA du patin. Tout-à-fait en haut et entre les conducteurs, est la poulie J qui sert à mettre le mouton en mouvement, à bras d'hommes, au moyen de la corde KK et des cordons L. La contre-fiche GG est armée de chevilles qui servent d'échelons pour monter à la poulie quand quelque chose s'y dérange. Le pieux sous le battage est marqué de la lettre M. Telle est la disposition de ce premier exemple de sonnette; ceux qui vont suivre n'en diffèrent que par des accessoires plus ou moins utiles.

15. EXEMPLE 2. Les figures 295, 296 et 297 sont les projections d'une seconde sonnette qui diffère de la première, 1°. par la disposition de son

patin (fig. 297); 2°. en ce que la poulie CC qui sert à mettre le mouton E en mouvement n'est pas portée ici par les deux guides ou conducteurs AA, mais par deux solives verticales BB, placées derrière ces conducteurs, et assemblées par le bas dans la pièce FF du patin; 3°. et par la forme de la contre-fiche DD qui porte les chevilles qui servent d'échelons pour monter au sommet de la machine; et, en effet, cette contre-fiche est recourbée dans sa partie supérieure, où l'on a placé trois poulies GGG, sur lesquelles il passe un câble au moyen duquel on élève le pieux HH, pour le mettre verticalement sous le mouton à la place où il doit être enfoncé. Du reste, l'inspection des projections de cette machine suffira pour faire comprendre les détails de sa construction. Cette sonnette est celle dont on a fait usage pour battre les pieux de la fondation de l'écluse de la Barre au port du Hâvre.

16. EXEMPLE 3. Les figures 298, 299 et 300 sont les projections d'une troisième sonnette dans laquelle les deux conducteurs ou *élingues* AA sont réunis en haut par un chapeau BB, auquel sont suspendues deux poulies DD qui servent toutes les deux à mettre le mouton en mouvement, par le moyen de deux câbles EE, tirés à bras d'hommes. La pièce de bois FF est réunie avec les contre-fiches GG par autant de systèmes de quatre morceaux de bois disposés comme les figures A, B et C l'indiquent en projection horizontale, qu'il y a de traverses horizontales HH, II, KK pour réunir entre elles les contre-fiches GG. Les bouts *a* des pièces *ab*, viennent en joint contre la face inférieure de la pièce FF, et les bouts *c* des pièces *cd*, viennent en joint contre les faces de derrière des traverses horizontales HH, II, KK. Le lecteur trouvera facilement la manière d'obtenir ces trois projections horizontales (fig. A, B et C), en faisant attention que la première répond aux projections verticales HH, la seconde à celles II, et la troisième à celles KK. Aux points LL de la pièce FF, sont deux poulies adaptées à une face latérale de cette pièce FF, maintenue contre par une joue en bois fixée par des boulons, ainsi qu'on le voit indiqué en M (fig. 299) pour celle du sommet. Ces deux poulies servent à mettre le pieux en place sous le mouton NN, au moyen d'un câble et du treuil O. Enfin, les poulies PP et les treuils QQ sont destinés à arracher de vieux pieux. Cette sonnette, que j'ai tirée du recueil de charpente de M. Krafft, ainsi que la précédente, me paraît trop compliquée, et les poulies PP pas assez solidement attachées, attendu que la traverse II pourrait céder à l'effort qu'il faudrait produire pour arracher un pieu; mais il serait facile de la rendre plus simple, et de fortifier la traverse II par des moises verticales qui iraient s'attacher en dessus aux contre-fiches GG.

17. EXEMPLE 4. Les figures 301, 302 et 303 sont les projections de l'une

des sonnettes employées à la construction du pont de Saumur, qu'on trouvera dans l'ouvrage intitulé : *Description des travaux hydrauliques de Louis-Alexandre de Cessart, doyen des inspecteurs-généraux des ponts et chaussées, etc.* Ces trois projections en font suffisamment comprendre la disposition particulière. On remarquera que les conducteurs ou élingues sont assez écartés l'un de l'autre pour que le mouton soit compris entre les deux; ce qui exige que des rainures soient pratiquées dans les deux faces latérales du mouton. On observera en outre que le mouton est élevé au moyen d'un treuil armée d'une roue à cheville, et que le mouton est abandonné à lui-même, au moment qu'il est arrivé à la hauteur voulue, au moyen d'un déclic ou levier AA recourbé, suspendu au câble par le moyen d'un axe B passé dans une chappe portant le crochet auquel le câble est attaché. Le bout inférieur du déclic, en forme de crochet, passe dans l'anse du mouton, et l'enlève lorsqu'on fait agir le treuil. Quand le mouton est arrivé à la hauteur demandée, un homme tire la corde C, et fait échapper le déclic de l'anse du mouton, et cette masse se précipite aussitôt sur la tête du pieu.

18. EXEMPLE 5. La figure 305 est la disposition, en projection horizontale, de deux sonnettes accouplées AA, BB, réunies par des entre-toises CC, DD, EE, et tellement écartées l'une de l'autre, qu'on peut faire marcher de front le battage de deux files de pieux F. La figure 304 est le profil vrai, ou la projection verticale de l'une des sonnettes, prise parallèlement à la projection horizontale AA de cette sonnette. J'ai disposé les choses de cette manière, pour éviter les raccourcis, et par conséquent donner les longueurs des morceaux de bois directement dans le profil. Je n'ai point donné la projection verticale de la seconde sonnette BB, parce qu'elle n'aurait servi à rien, et aurait embrouillé le véritable profil qui, par là, devient si clair qu'il est tout-à-fait inutile d'en donner la description. Cette double sonnette est à déclic, et le déclic se décroche tout seul de l'anse du mouton K, au moyen d'une clavette en fer H, fixée sur les élingues GG à la hauteur voulue, contre laquelle le bout I du déclic s'appuie à mesure que le mouton s'élève. Pour qu'après que le mouton est tombé ce déclic puisse descendre en détournant la manivelle du treuil L, on l'a armé d'un coulisseau M en bois (dont la forme est indiquée en grand par les figures A et B), qui en augmente le poids, et dans lequel est fixé l'axe autour duquel le déclic tourne. C'est à ce coulisseau que le câble est attaché pour élever le mouton, ainsi qu'on le voit distinctement dans la figure A. Cette jolie machine est due à M. Lamandée, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées. Il en a fait usage aux travaux du port des Sables-d'Olonne.

Machine à arracher les Pieux.

19. L'ingénieur que nous venons de citer a imaginé une machine propre à arracher les pieux, dont il a fait usage au port des Sables-d'Olonne : les figures 306, 307 et 308 en sont les projections. On voit, par ces projections, que cette machine se compose principalement de deux leviers AA, et d'un mouton B. Pour faire agir ces leviers et le mouton, voici comment les choses sont disposées : Deux poutres CC parallèles entre elles sont espacées l'une de l'autre d'environ 1^m, 20, et forment la base de la machine. Ces poutres sont entretenues par des entre-toises DD, boulonnées dessus. Sur ces mêmes poutres, sont assemblés, à tenons et mortaises, les poteaux EE, FF, qui sont couronnés deux à deux par un chapeau G, H, qui les maintient d'écartement. Ces mêmes poteaux sont entretenus par des contre-fiches II, et ceux marqués EE servent d'appui à deux treuils, au moyen desquels on abaisse les leviers pour soulever le pieu. Les points d'appui de ces leviers sont les entre-toises HH. Ces leviers sont attachés au pieu par des ganses en fer, dont la forme est représentée en grand par les figures A et B, ainsi que la manière dont elles sont accrochées. Quand les leviers ont agi une fois, et qu'on veut les faire agir de nouveau, on les relève par le moyen de moufflets MM. Le mouton B est mis en mouvement par un câble tiré à bras d'homme, qui passe sur les poulies LL, et est conduit par deux élingues KK, qui se trouvent comprises entre les quatre grandes oreilles NN, qui se trouvent sur chaque face correspondante du mouton. Pour arracher un pieu, on fait forcer les leviers, de manière qu'ils tendent à soulever le pieu, et à l'instant on frappe un coup de mouton sur la tête de ce dernier : la réaction des leviers fait que le pieu s'arrache.

Machine à receper les Pieux.

20. Après avoir battu tous les pieux d'une fondation, pour pouvoir établir la maçonnerie dessus, il est indispensable de scier tous ces pieux de manière que leurs têtes soient toutes sur un même plan horizontal : cela s'appelle *recepper les pieux.* A cet effet, il faut une scie d'une disposition particulière. Cette scie peut être construite de plusieurs manières; celle dont les projections sont les figures 309, 310 et 311, me paraît une des plus simples qu'on puisse imaginer. Elle se compose de deux montans AA, au bas desquels une lame de scie B se trouve fixée à plat par les deux bouts, au moyen d'une bande de fer recourbée, avec un talon d'un côté, et une vis de rappel de l'autre côté, pour bander la scie. La longueur de ces montans AA est proportionnée à la profon-

deur, sous l'eau, à laquelle on veut recepper. Des moises CC embrassent ces montans au-dessus de l'échafaudage qu'on dispose bien de niveau à une hauteur convenable, et sont destinées à glisser sur des coulottes DD posées sur l'échafaud, pour servir de guide à la scie, et la maintenir de manière à l'obliger de décrire un plan horizontal. En outre, ces deux montans sont réunis ensemble par une moise EE qui les tient à une distance, l'un de l'autre, égale à la longueur de la scie, et au moyen des contre-fiches FF, cette même moise tient coup pour bander la lame, ce à quoi sert encore la traverse G qui s'assemble au haut des montans à tenons et mortaises bien chevillés; enfin les montans AA sont encore réunis aux moises CC par les contre-fiches H. Pour faire mouvoir cette machine, on fera passer simplement une cheville de bois II, à laquelle les hommes appliqueraient les mains; ou bien on adaptera sur chaque montant une main en fer KK dont la forme est indiquée en ponctuation. Les projections indiquent d'ailleurs l'approche de la machine contre le pieu.

On a imaginé d'autres scies à recepper les pieux. Par exemple, celle dont on a fait usage à la construction du pont de Saumur, qui se trouve décrite dans l'ouvrage des travaux hydrauliques de de Cessart. Cette machine, qui est en fer, permet de scier horizontalement les pieux à trois ou quatre mètres sous l'eau avec une grande précision. Dans le tome deuxième du Traité de la construction des ponts par M. Gauthey, publié par M. Navier, son neveu, il s'en trouve une autre en bois un peu moins simple que celle que nous venons de proposer. Enfin, on en trouvera une autre figurée dans le recueil de charpente de M. Krafft. Sans la crainte de grossir cet ouvrage de choses qui ne sont pas précisément de son objet, non-seulement j'aurais donné la description de toutes ces machines, mais j'en aurais donné une nouvelle qui n'offre pas moins d'avantages que celle de de Cessart, sans être aussi compliquée. On trouvera ces deux dernières dans la partie théorique de ce cours de construction.

3me. LEÇON.

Des Batardeaux.

21. Les batardeaux ont pour objet de former des enceintes autour de l'emplacement où l'on veut établir une fondation, de manière à empêcher toute communication entre l'eau de la rivière et celle contenue dans cette enceinte, afin de pouvoir mettre à sec, autant que possible, l'emplacement de la fondation.

La figure de l'enceinte formée par le batardeau dépend de celle de la base de la construction à établir; quant à ses dimensions, elles doivent permettre de placer commodément les machines à épuiser ou à draguer, sans nuire au service de l'exécution de la maçonnerie. Plus on diminuera cette enceinte, moins on aura de longueur de batardeaux à faire, et moins aussi on aura d'eau à épuiser, non-seulement parce que le volume d'eau qu'elle contiendra sera moindre, mais encore parce que les causes d'infiltration seront d'autant plus diminuées.

Quand l'eau est tranquille, sa profondeur peu considérable, et que le terrain du fond est assez imperméable pour qu'on n'ait pas à craindre de grandes infiltrations, on se contente de faire le batardeau en forme de levée en terre franche bien pilonée, sans mélange de pierres ni de morceaux de bois; mais s'il s'agissait d'une eau courante, et qu'il fallût épuiser au-dessous du niveau du fond de la rivière, alors on planterait une file de pieux *aa*... (fig. 312, 313 et 314) du côté de la rivière, dont l'équarrissage serait de 20 à 30 centimètres, et l'espacement, de milieu en milieu, de $1^m,50$ à 2 mètres; derrière cette file de pieux, on disposerait des vanages *bb*..., composés de fortes planches ou de madriers de champ, retenues en joint par des aiguilles verticales *cc*..., placées entre les pieux, du côté de l'enceinte, et par conséquent sur la face des vanages opposée à celle contre laquelle les pieux seraient situés. Au droit et derrière les pieux seraient d'autres aiguilles verticales *dd*..., réunies aux pieux par deux ou trois boulons en fer dans la hauteur, qu'on serrerait fortement au moyen d'écrous. Enfin, du côté de l'enceinte, on ferait, contre les vanages, une levée de terre franche ou de glaise, bien pilonée, dont le profil serait celui que présente la figure 314.

Si la profondeur de la rivière dépassait $1^m,50$, et que l'épuisement dût descendre plus bas que le lit des eaux, on ferait un batardeau *à coffre*, composé de deux files de pieux *aa*... (fig. 315, 316, 317, 318, 319 et 320), derrière lesquelles (intérieurement au bardeau) on disposerait des vanages *bb*... (fig. 315, 316 et 317), comme il vient d'être dit pour le cas d'une seule file de pieux, lesquels vanages formeraient une espèce de coffre que l'on remplirait de bonne terre franche ou de glaise, après avoir dragué tout le sable et le gravier perméable qui se trouverait dans le fond, et avoir fait descendre les vanages à cette profondeur. S'il y avait trop de sable ou gravier perméable à enlever pour atteindre un fond susceptible de s'opposer aux filtrations, au lieu des vanages *bb*... (fig. 318, 319 et 320), on formerait le coffre au moyen de madriers verticaux et jointifs, enfoncés en terre comme les pieux, mais à une moindre profondeur, dirigés dans leur fiche par des moises

cc, entre lesquelles ces madriers glisseraient verticalement, pendant qu'on les frapperait sur leur tête pour les enfoncer. Ces madriers, qu'on appelle *palplanches*, formeraient des parois plus solides s'ils étaient assemblés les uns aux autres à languettes et rainures, comme l'indiquent les figures A et B en projection horizontale.

Pour empêcher les deux parois de s'écarter l'une de l'autre, on les réunit par des liernes *dd*... qui posent sur les bords supérieurs des vanages (fig. 315, 316 et 317) ou des palplanches (fig. 318, 319 et 320), et qui sont fixées des deux bouts avec le haut des pieux par des boulons de fer. Dans les figures 318, 319 et 320, on voit que ces liernes sont entaillées dans des longuerines *ee*..., qui passent devant les files de pieux, avec lesquels ces longuerines sont liées par des boulons.

Les ingénieurs des ponts et chaussées sont dans l'usage de faire l'épaisseur des batardeaux à coffre, égale à la profondeur de la rivière, lorsque cette profondeur ne passe pas 4 mètres; et lorsqu'elle dépasse cette limite, pour avoir cette épaisseur, on ajoute à la profondeur du fleuve, autant de fois $0^m,32$ que cette profondeur a de mètres au-dessus de la même limite 4 mètres. Quant à la hauteur, elle doit être au moins de $0^m,50$ au-dessus des plus grandes crues de la rivière.

Une précaution très-essentielle, c'est de ne pas mettre des pièces de bois qui traversent les batardeaux, parce qu'elles serviraient de conducteurs à l'eau qui, s'infiltrant au travers du batardeau, rendrait les épuisemens beaucoup plus dispendieux, et quelquefois même impossibles.

Souvent les pieux que l'on plante pour maintenir les parois des batardeaux traversent des couches de terre imperméable qui, recouvrant des sources d'eau avant d'être percées, laissent surgir ces sources le long des pieux, quelquefois d'une manière si abondante que les batardeaux deviennent presque sans effets, et par conséquent les épuisemens presque impossibles ou du moins très-dispendieux. Il est donc nécessaire, avant d'établir un batardeau, de s'assurer de la nature des couches du terrain, afin que les pieux ne soient pas enfoncés dans la première couche imperméable tout au travers de son épaisseur.

Si l'enceinte formée par le batardeau ne doit pas être trop considérable, et que la première couche de terre imperméable soit recouverte d'une forte épaisseur de sable ou de gravier, au lieu de planter des pieux pour former un batardeau ordinaire, on fera une espèce d'encaissement dont le plan est la figure 323, la coupe sur la longueur la figure 322, et celle en travers la figure 321. Cette espèce d'encaissement est dans le même esprit que celle publiée en

1757 par M. Tardif, ingénieur des ponts et chaussées, dont le véritable profil, donné par l'auteur, est la figure 324. Cet encaissement se compose d'un premier cadre AA..., formé par des pièces de bois taillées en biseau en dessous. Sur ce premier cadre s'élèvent des poteaux entretenus d'aplomb par des moises BB...; parallèlement à cette première enceinte, s'en trouve une autre intérieure, formée de même, qui est établie sur un second cadre CC..., composé comme le premier, mais situé à une hauteur, par rapport au premier, au moins égale à la distance comprise entre les deux enceintes, ainsi qu'il est indiqué dans les deux coupes (fig. 321 et 322). Les moises DD..., de l'enceinte intérieure, vont embrasser les poteaux situés aux angles de l'enceinte extérieure, afin de réunir ces deux enceintes solidement ensemble. Les deux cadres du bas sont réunis par des entre-toises assemblées à tenons et mortaises dans ces deux cadres, et disposées suivant l'inclinaison donnée par les biseaux et la différence de hauteur des deux cadres. Des vanages sont appuyés contre les poteaux des deux enceintes, et intérieurement, et l'espace compris entre ces deux vanages est rempli de glaises ou de terre franche fortement comprimée, ou bien en bonne maçonnerie en moëlons, posés à bain de mortier hydraulique. Avant de remplir cette enceinte, on dispose l'encaissement sur l'eau, au moyen de tonnes pour le faire flotter, et quand il est verticalement à l'endroit de la fondation, on commence à remplir l'entre deux des doubles parois de l'encaissement de terre, par de la glaise ou de la maçonnerie, que l'on continue jusqu'à ce que, ayant débouché les tonnes pour les remplir d'eau, l'encaissement touche le fond. Ensuite on détache les tonnes pour les enlever; on continue de remplir l'entre-deux des deux enceintes, et on drague le sable dans l'emplacement de la fondation. A mesure que le dragage avance, l'encaissement s'enfonce par l'action de son poids, qui augmente à mesure que l'on continue de remplir l'entre-deux des enceintes, et empêche de cette manière que les sables du tour éboulent dans l'emplacement de la fondation, que l'on peut creuser jusqu'à ce qu'on trouve une bonne couche de terre dans laquelle l'encaissement doit s'enfoncer un peu. Arrivé à ce point, on commencera les épuisemens, et s'ils avancent assez vîte, on les continuera, sinon on les suspendra, pour jeter une couche de beton dans le fond, pour empêcher les filtrations, ou bien on disposera les choses comme il va être dit.

Quoique le batardeau remplisse bien toutes les conditions, qu'il intercepte bien toute communication de l'eau du fleuve à celle de l'enceinte, il y a souvent encore des filtrations qui proviennent de la perméabilité du fond de l'emplacement de la fondation, et ces filtrations sont quelquefois

tellement abondantes, qu'il est impossible d'effectuer les épuisemens. Dans ce cas on est obligé de recouvrir ce fond d'un plancher général, composé de panneaux de planches assemblées à languettes et rainures, et maintenues en joint par des barres de planches fortement clouées sur les panneaux, comme pour faire un contre-vent en menuiserie. Ces planches peuvent être de sapin, et n'avoir que 3 à 4 centimètres d'épaisseur. On assemble ces panneaux les uns aux autres sur l'eau même, en les réunissant fortement ensemble par de fortes barres de bois bien clouées sur ces panneaux. Pour empêcher les filtrations au travers des joints, on cloue dessus des liteaux ou ais en mettant de la mousse ou de l'étoupe entre deux, et ensuite on charge ce plancher de pierres le plus également possible sur toute sa surface, pour le faire échouer bien de niveau, et le faire toucher le fond immédiatement partout. Par ce moyen, on étouffe pour ainsi dire toutes les sources du fond, et l'épuisement devient très-facile.

Mais pour que ce plancher puisse toucher le fond également partout, il faut que ce fond soit dragué bien de niveau, et recouvert ensuite d'une couche de glaise d'une épaisseur uniforme de 20 à 30 centimètres. On règle cette couche de terre glaise par des moyens que nous expliquerons ailleurs; nous allons nous contenter ici de donner la description d'une machine à draguer, que l'on trouvera aussi dans la description du pont de Moulins, par M. de Regemortes, dans les Œuvres de Perronet et dans le Traité de la construction des ponts, par Gauthey, inspecteur-général des ponts et chaussées.

Machines à draguer.

22. Les figures 325, 326 et 327 sont les projections de la machine à draguer dont nous venons de parler. Elle se compose d'abord d'un châssis de charpente dont les pièces sont deux fortes traverses AA qui posent sur l'échafaud qui doit porter la machine; de deux autres pièces plus longues BB que les traverses AA qui sont entaillées sur ces dernières; sur les pièces BB s'élèvent verticalement quatre poteaux CC réunis entre eux en haut par des traverses DD et EE, et maintenus en bas par deux contre-fiches en bois FF, et deux autres en fer GG. Les traverses d'en haut DD sont entaillés dans les poteaux CC, et réunies avec ces derniers par des boulons en fer. Deux autres poteaux HH sont entaillés dans les traverses BB, DD, et portent le treuil II, auquel est adapté un hérisson à six pans, dont trois sont en saillie, et entrent dans les mailles carrées de la chaîne KK, sans fin. Cette chaîne porte des espèces de hottes K en tôle, percées de petits trous, pour laisser échapper l'eau, et retenir le sable ou gravier que ces hottes viennent prendre dans

le fond de la rivière, en passant sur deux rouleaux LL, dont les axes sont supportés par des traverses MM, assemblées au bas de quatre montans ou élingues NN, qui passent dans des gâches en fer OO fixées aux traverses BB, DD, et sont suspendues en l'air par des clavettes en fer PP, qui passent au-dessus des traverses DD, et traversent les élingues. Le tablier Q reçoit la terre que versent les hottes en passant sur le hérisson I, et pour que ce tablier n'empêche pas les hottes de descendre, on le fait glisser sur la traverse R qui le supporte, en le faisant tourner autour d'un boulon S fixé à une autre traverse qui lui sert de point d'appui en bas, et qui est assemblée dans les pièces de bois BB. On fait mouvoir ce tablier par le moyen d'une poignée en fer T, qui y est attachée. On fait mouvoir la machine par le moyen d'une manivelle U, et d'un engrenage adapté au treuil. Quand le terrain se trouve approfondi assez pour que les hottes ne puissent plus se remplir, on alonge la chaîne par de fausses mailles, et on fait descendre les élingues, en changeant les clavettes P de trous. Quand le terrain est trop dur, et que les hottes ne peuvent l'attaquer, on met sur la chaîne autant de grapins que de hottes, disposés alternativement. Ces grapins ne sont autres choses que des espèces de fourches en fer, à plusieurs becs recourbés.

Au moyen de cette machine, on nivellera le fond de l'enceinte formée par les batardeaux, de manière à recevoir la couche de glaise qui doit recevoir le plancher destiné à étancher les eaux qui pourraient surgir du fond. Toute communication entre l'eau contenue dans l'enceinte et celle de l'extérieur étant interceptée, on pourra commencer les épuisemens, pour mettre l'emplacement de la fondation à sec.

4me. LEÇON.

Des Machines à épuiser.

Il y a plusieurs espèces de machines à épuiser, dont les principales sont les pompes, les chapelets inclinés, les chapelets verticaux, les roues à aubes et gaudets, les roues à tympan, la vis d'Archimède, etc. Nous ne donnerons point ici la manière de faire les pompes, ces sortes de machines sortant entièrement du ressort de la charpente; mais nous allons donner la description d'un exemple de chacune des autres.

Des Chapelets inclinés.

23. Les figures 328 et 329 sont les projections verticale et horizontale

qui en a pris les mesures sur place, s'exprime ainsi : « Comme la manœuvre
» en est fort aisée, et toutes les parties bien proportionnées, il m'a paru,
» après l'avoir examiné sérieusement, que je ne devais point hésiter de le
» donner pour modèle; en voici le détail.

» Le tuyau montant ABCD a extérieurement 13 pouces ($0^m,3519$) en
» carré, sur 9 pieds 6 pouces ($3^m,086$) de hauteur de C en E, mais qu'on
» peut faire plus grande, si la nécessité y oblige. Ce tuyau a intérieurement
» 5 pouces ($0^m,1354$) de diamètre, et doit être percé bien droit; la face de
» derrière est plus haute que les autres de la partie DE de 16 pouces
» ($0^m,433$), afin de pouvoir y attacher le sabot AFGE, qui n'est autre
» chose qu'une espèce de caisse, percée de trous placés dans l'eau qu'on
» veut élever; à travers cette caisse passe un boulon sur lequel tourne un
» rouleau P pour faciliter l'entrée des grains Q dans le tuyau.

» Contre les faces extérieures du tuyau sont attachés, à droite et à gauche,
» les supports HK de l'essieu RS de l'hérisson TV, accompagnés d'ais, pour
» former le canal BKLM qui conduit l'eau de l'autre côté du batardeau.

» *L'hérisson* est composé d'un moyeu de 16 pouces (0,433) de diamètre
» dans le milieu, réduit à 15 ($0^m,406$) par ses extrémités, fortifié de deux
» frettes de 12 lignes (0,027) de largeur sur 5 ($0^m,222$) d'épaisseur. Ce
» moyeu est hérissé de six *griffes* en fer, ayant 7 pouces ($0^m,1895$) de lar-
» geur par le haut, réduites à 3 pouces 4 lignes ($0^m,09$) à la racine, et 7
» lignes ($0^m,0157$) d'épaisseur, échancré dans le milieu sur la hauteur de
» 5 pouces ($0^m,135$), pour faciliter le jeu de la chaîne; l'essieu a 18 lignes
» ($0^m,0405$) en carré arrondi aux sorties du moyeu; les manivelles ont
» 15 pouces ($0^m,406$) de coude et les poignées 40 pouces ($1^m,083$), pour
» que deux hommes puissent y être appliqués de front.

» Les grains ont 5 pouces ($0^m,135$) de hauteur y compris la tige et la
» *queue*; leur diamètre est de 4 pouces 10 lignes ($0^m,1308$); sur leur plan,
» on pose une ou deux rondelles de cuir, dont le diamètre est de 5 pouces
» ($0^m,135$), c'est-à-dire égal à celui du tuyau montant; sur ces rondelles est
» posé une plaque de fer servant à serrer les cuirs par le moyen d'une
» clavette qui traverse la tige.

» L'intervalle XY qui se trouve entre l'extrémité de la queue des deux
» grains est de 30 pouces ($0^m,8121$); cette partie pèse 10 livres ($4^k,8951$),
» l'ayant aussi pesé dans l'eau, j'ai trouvé que son poids était diminué d'une
» livre 4 onces ($0^k,6123$), qui est celui du volume d'eau dont elle occupe la
» place. »

En général, les chapelets, soit inclinés, soit verticaux, sont sujets à de

fréquentes réparations qui, interrompant l'épuisement, causent souvent de grands préjudices, à moins d'en avoir un ou deux de relai, ce qui ne se peut faire que dans de grands travaux où l'économie, bien entendue, exige de monter les ateliers en grand.

Des Roues à godets et à aubes.

25. Soit A le batardeau et B l'enceinte à épuiser (fig. 332), C étant le côté de la rivière.

Pour opérer l'épuisement, on pourra soutenir un arbre DE sur deux chevalets de charpente F et G, établis sur un chapeau, coiffant les têtes de deux pieux H plantés dans l'enceinte B, et de deux autres I plantés dans la rivière, de manière que les tourillons F et G de cet arbre tournent librement sur ces chevalets. Près du tourillon F, on fixera à cet arbre une roue KK (fig. 332 et 333) à un seul ou deux rangs de jantes (dans notre exemple il n'y en a qu'un rang), auxquelles jantes on suspendra des godets *aa*..., ou espèce de seaux, à des axes ou boulons de fer *bb*..., de manière que ces godets puissent conserver la situation verticale, pendant que la roue tournera, jusqu'à ce que chacun de ces godets, rencontrant la traverse horizontale *c* de la cuve L, l'oblige de s'incliner pour verser dans cette cuve l'eau qu'il contient, d'où elle doit, par le moyen du canal M, se précipiter dans la rivière. Pour mettre cette roue à godets en mouvement, à l'autre bout E de l'arbre FG, on fixera une roue à aubes NN (fig. 332 et 334), à double rang de jantes ou en un seul, comme dans notre exemple, que le courant de la rivière fera tourner en frappant les aubes *oo*...

Cette machine, fort simple, est une des plus puissantes pour opérer les épuisemens; elle a l'inconvénient d'élever l'eau quelquefois plus haut qu'il n'est nécessaire, mais alors on peut lui substituer une roue à tympan.

Roue à Tympan des anciens, perfectionnée par M. de la Faye.

26. La roue à tympan de la Faye est représentée en coupe par la figure 335; elle se compose de quatre canaux, tels que *abcdefgh*, dont son ouverture *de* est à la circonférence de la roue, et communique par l'autre ouverture *ah*, à un tambour creux, divisé en quatre chambres par des cloisons de planches *ii*..., assemblées dans la surface cylindrique de l'arbre A de la roue. Le rayon AB de la roue doit être égal à la circonférence du tambour construit en planches, autour de l'arbre A, et cette circonférence doit être un peu plus grande que la hauteur à laquelle on veut élever l'eau. La courbure que suivent les canaux *abcdefgh*, est celle de la développée de la circon-

férence de la base du tambour (*). Quand la roue tourne, l'eau s'introduit dans les canaux par les ouvertures *de* qui sont à sa circonférence, et s'élève dans ces canaux suivant des verticales qui sont tangentes à la circonférence du tambour, et vient communiquer dans les chambres de ce même tambour par les ouvertures *ah*, par où elle s'échappe dans une buse disposée à l'extrémité de ce tambour, qui la conduit hors de l'emplacement des fondations.

On peut faire tourner les roues à tympan à bras d'hommes, au moyen d'une manivelle, ou bien en l'accouplant avec une roue à aubes, comme il a été dit pour les roues à godets, ainsi que l'indique la figure 332. On pourrait encore mettre une roue à tympan en mouvement à bras d'hommes, au moyen d'une roue à chevilles, fixée sur le même arbre, et à une certaine distance de celle à tympan, pour que l'eau, entraînée par cette dernière, ne vînt pas incommoder les manœuvres qui la feraient agir.

De la Vis d'Archimède.

27. Une vis d'Archimède est une espèce de tonne cylindrique formée, comme à l'ordinaire, de planches ou douves maintenues en joint par des cercles en fer fortement serrés par des vis de rappel; la figure 336 en donne les projections. Suivant l'axe de cette tonne ou tambour cylindrique est un arbre cylindrique AB, aux extrémités duquel sont des tourillons en fer, l'un G, à l'extrémité inférieure, qui a une tête sphérique qui tourne dans une crapaudine en fonte, fixée dans la traverse CD d'un châssis CDEF, l'autre H, qui tourne sur la traverse supérieure FE du même châssis CDEF, et porte une manivelle I, au moyen de laquelle on fait tourner la machine. L'espace cylindrique KLMNOPQR, compris entre la surface de l'arbre AB et la surface intérieure du tambour, est divisé par quatre canaux hélicoïdes, formés par de petits morceaux de planches minces logés des deux côtés dans des rainures hélices, pratiquées dans la face intérieure du tambour et celle de l'arbre. Pour tracer ces rainures hélices, on s'y prendra comme nous l'avons expliqué dans la leçon qui traite des escaliers à rampes courbes. Quant aux petites planches qui doivent former les parois hélicoïdes des canaux de la machine, à cause de leur peu d'épaisseur, on leur donnera à peu près la forme KQST, en tenant le côté QS un peu plus grand que ne l'indique la projection horizontale, et ensuite, après les avoir mis aussi exactement que possible de la même épaisseur que la largeur des rainures, on les

(*) Nous avons donné le moyen de décrire cette courbe, par des points, dans le deuxième chapitre de notre Traité spécial de Coupe des pierres.

forcera, pour les gauchir, de manière à les faire entrer des deux côtés dans les rainures du tambour et de l'arbre. Si ces planches ne joignent pas bien ensemble, on les retirera pour enlever le bois qui sera nécessaire. Pour réunir tous les morceaux de planches des canaux et du tambour, il faut de l'adresse et de l'habitude à l'ouvrier; car le plus difficile du travail est à l'intérieur, où il lui est impossible de pénétrer, la machine une fois faite. Voici comment j'imagine qu'on pourrait s'y prendre pour se tirer d'embarras, et opérer avec exactitude.

On commencerait par faire l'arbre bien cylindrique, et sur sa surface on tracerait et on incrusterait la rainure hélice. Ensuite, on ferait le tambour ou tonne, comme à l'ordinaire, et on le cerclerait provisoirement, comme s'il n'y avait plus rien à faire, et puis, sur la surface extérieure, on tracerait les hélices, comme si les rainures devaient se trouver sur cette surface extérieure. Cela fait, après avoir numéroté les douves, on déferait les cercles en fer, pour pouvoir attaquer séparément chacune d'elles; avec une équerre, on rapporterait le tracé des rainures, disposées les unes au-dessus des autres dans la même douve, sur sa face intérieure, et on ferait toutes ces rainures. On préparerait ensuite tous les morceaux de planches minces destinées à former les canaux hélicoïdes intérieurs, et tout serait préparé pour la pose. Pour procéder à cette pose, on disposerait l'arbre horizontalement, de manière à ce qu'il pût tourner sur son axe quand on voudrait, et on implanterait d'abord, entre deux génératrices de la surface de cet arbre qui correspondraient au bord d'une douve, une suite des petites planchettes hélicoïdes au-dessus les unes des autres, et on les forcerait d'entrer en même temps dans les rainures de la douve correspondante; à la suite de ces petites planchettes, on en ajusterait un pareil nombre qu'on forcerait de même à entrer dans les rainures d'une seconde douve, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière et douve, qu'on pourrait faire de plusieurs morceaux dans sa longueur, pour permettre à l'ouvrier de passer la main et forcer successivement les dernières planchettes d'entrer dans les rainures de cette dernière douve. On maintiendrait les douves successives en joint les unes contre les autres, provisoirement au moyen de cordes qu'on tordrait avec un levier, et qu'on détordrait pour poser une nouvelle douve, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière, et alors on poserait les cercles en fer, et la vis d'Archimède serait finie.

Cette machine est très-puissante dans les épuisemens, et sa construction est telle qu'elle n'exige presque jamais de réparation; mais les emplacemens ne permettent pas toujours de l'employer. Ses dimensions sont de 2 à 4 mètres de long sur 49 cent. de diamètre; la hauteur des canaux intérieurs

doit être d'environ 15 cent., prise verticalement, pour que l'eau ait le débouché nécessaire.

Telles sont les principales machines employées aux épuisemens; nous ne les avons considérées ici que sous le rapport de leur construction, nous réservant de discuter les conditions auxquelles elles doivent satisfaire pour produire le plus grand effet possible, dans la partie purement théorique de ce cours de construction.

5me. LEÇON.

Des Grillages et des Caissons.

Des Grillages.

28. Lorsqu'on a dragué le fond de l'emplacement d'une fondation bien de niveau, qu'on l'a mis à sec par épuisement, et que la nature du terrain l'exige, avant d'établir la première assise de maçonnerie, on pose quelquefois des pièces de charpente qu'on appelle *racinaux*, immédiatement sur le sol, à des distances plus ou moins rapprochées, et de telle sorte que la longueur de ces racinaux soit disposée de la manière la plus convenable, ce qui est indiqué par la forme même de la base de la fondation. Dans les bâtimens, on doit disposer ces racinaux perpendiculairement à la longueur du mur, quand la première assise de maçonnerie est en forts libages, qui peuvent poser sur deux racinaux à la fois, et surtout si le terrain a une égale résistance dans toute la longueur du mur. Cette disposition permettra de donner plus facilement de l'empâtement à la fondation, sans avoir besoin de faire la maçonnerie plus large; mais presque toujours on dispose les racinaux longitudinalement au mur. Pour que cette disposition soit bonne, il faut que les libages de la première assise aient une largeur à peu près égale aux deux tiers de l'épaisseur de la fondation, pour qu'en les posant alternativement en ligne, sur les deux faces de la fondation, les rangs de racinaux soient reliés entre eux, pour que l'un puisse soutenir l'excès de charge qui pourrait faire baisser l'autre qui se pourrait trouver sur une partie de terrain moins solide.

Quelquefois, après avoir disposé des racinaux perpendiculairement à la longueur du mur, on les réunit par d'autres racinaux posés en croix sur les premiers, ou par un plancher en madriers jointifs disposés de même, qu'on attache aux racinaux au moyen de chevilles en bois ou en fer. Dans ce dernier cas, on peut poser les racinaux parallèlement à la longueur de la fondation.

Enfin, lorsqu'on emploie deux couches de racinaux, l'une transversale et l'autre longitudinale, on doit les entailler, à leur rencontre, au moins de 5 à 10 centimètres de profondeur, et mieux vaudrait les entailler à demi-épaisseur. On peut ensuite couvrir tous ces racinaux d'un fort plancher en madriers jointifs, bien chevillés dessus. Dans tous les cas, il faut remplir avec soin les vides laissés par les racinaux, soit en maçonnerie, soit seulement en terre bien pilonnée, de manière que le tout soit arrasé au même niveau.

Si la fondation doit être sur pilotis, après avoir recépé les pieux à la hauteur convenable, de manière à laisser ou non un tenon sur la tête de chacun d'eux, on disposera des longuerines AB (fig. 337 et 338) sur les têtes de chaque file de pieux qui se reliraient les unes aux autres, comme on le voit indiqué dans la planche 105, si la fondation formait une encoignure, de manière que ces longuerines seraient entaillées les unes dans les autres à demi-épaisseur par embreuvement ou à queue d'hironde vers les encoignures, et aux endroits où elles se croiseraient. Au-dessus des pieux correspondans des files parallèles, on dispose des entretoises CC..., qu'on assemble à queue d'hironde dans les longuerines des bords, que l'on nomme *chapeaux*, pour les réunir transversalement l'une à l'autre. Les chapeaux ou longuerines porteront en dessous des mortaises pour recevoir les tenons laissés sur la tête des pieux; mais comme ces derniers ne sont presque jamais battus parfaitement sur la ligne droite, ni à égale distance les uns des autres, quelque précaution que l'on prenne lors du battage, il est indispensable de ne tracer ces mortaises qu'en présentant ces chapeaux en face des tenons des pieux. Lorsque l'on trace les tenons sur la tête des pieux, il faut faire en sorte qu'ils soient le plus possible sur la même ligne droite, en faisant ces tenons tantôt sur les milieux des pieux, tantôt plus d'un côté que de l'autre, pour que les mortaises pratiquées dans les longuerines ne soient pas trop près des bords, ou même ne sortent pas tout-à-fait en dehors. S'il arrivait qu'un pieux fût assez mal planté pour sortir de tout son diamètre de dessous le chapeau, ce pieu n'aurait pas de tenon, et on disposerait une pièce de bois pour servir d'appui à la longuerine à ce point, laquelle pièce passerait dessous transversalement au chapeau, et serait boulonnée au moins contre deux pieux correspondans. Les longuerines et les entretoises étant bien assemblées en affleurement en dessus, et bien assises sur les têtes des pieux, on remplira soigneusement les vides qu'elles et les pieux laisseront entre eux, et on recouvrira le tout d'un bon plancher de madriers jointifs bien chevillés sur le grillage, et on pourra établir la maçonnerie dessus.

La figure 339 est le plan et l'élévation d'un grillage pour la fondation d'une

pile, et la figure 340, d'une culée de pont. Tout ce qui précède est également applicable à ces deux genres de grillage, ainsi qu'à tout autre, les différences ne consistant que dans la forme du plan.

Des Caissons.

29. La méthode de fonder par épuisement et par batardeaux entraînant à des dépenses qu'il est impossible d'apprécier d'avance, et présentant quelquefois des difficultés insurmontables, les constructeurs ont cherché tous les moyens possibles de l'éviter. De là la méthode de fonder par caisson, qui dispense totalement de mettre à sec l'emplacement de la fondation.

Il y a deux espèces de caisson; la première espèce n'est autre chose qu'un batardeau plus rapproché de la construction que les batardeaux ordinaires, beaucoup moins épais, et dont la structure peut varier : ils sont formés d'une ou deux files de pieux contournant le plan de la fondation, entrelacés de facinages ou réunis par des palplanches ou bordages, ou bien encore on les fait comme nous l'avons expliqué sur les figures 321, 322, 323 et 324. Cette espèce de caissons, qu'on appelle *encaissement* ou *crèche,* n'ont pas besoin d'une épaisseur si considérable que les batardeaux ordinaires, attendu qu'en n'épuisant pas l'eau intérieure, ils se trouvent pressés également dans tous les sens, et n'ont à résister qu'à l'action du courant de la rivière.

Quand ces encaissemens sont faits, on drague le fond pour atteindre le terrain solide, sur lequel on jette du beton qu'on fait descendre au travers de l'eau, en prenant des précautions qui ne regardent pas le charpentier.

La seconde espèce de caissons est d'une invention toute moderne. Labeylie ou Labeyly, ou encore la Belie, ingénieur suisse, en a, le premier, fait usage aux fondations des piles du pont de Westminster, sur la Tamise à Londres, dont les travaux ont été commencés en 1738 et ont été finis en 1750. Ces caissons ne sont autre chose que des espèces de bateaux ou pontons à fond plat, et à bords verticaux, que l'on met à flot pour les conduire à l'à-plomb du lieu que doit occuper la fondation. Pour les maintenir sur la surface de l'eau à la place qu'ils doivent occuper, on les engage dans des coulisses verticales fixées à des pieux disposés pour cela, de manière que le caisson ne puisse plus se mouvoir que dans le sens vertical, soit pour monter, soit pour descendre, suivant que la rivière ou la mer augmente ou diminue. Sur le fond du caisson on établit la maçonnerie qu'on élève successivement dans cette espèce de bateau, parfaitement à sec, sans avoir besoin d'épuisement, si ce n'est pour enlever l'eau de faibles filtrations qui peuvent avoir lieu au travers de quelques joints mal calfatés. A mesure que la maçonnerie s'élève,

son poids fait descendre le caisson, jusqu'à ce que le fond touche la tête des pieux recépés, ou le sol préparé pour le recevoir. On continue la maçonnerie jusqu'à une hauteur convenable, au-dessus de la surface des eaux, et, arrivé à cette hauteur, on démonte les bords du caisson, pour les remonter sur un nouveau fond, et composer ainsi un nouveau caisson avec le moins de frais possible. Le fond du caisson reste donc sous la construction, et tient lieu de grillage; par conséquent il est la partie du caisson qui demande le plus de solidité.

Les conditions principales auxquelles il faut satisfaire pour construire un caisson convenablement sont 1°. de faire le fond de manière que sa forme convienne à celle de la maçonnerie à établir dessus, que toutes les pièces de bois qui le composent soient disposées de manière à être inséparables les unes des autres, et les joints si bien calfatés que l'eau ne puisse passer au travers, malgré sa grande pression; 2°. de faire les bords assez solides pour résister à la pression de l'eau environnante qui s'exerce de dehors au dedans, en comptant sur la facilité qu'on a de les étresillonner intérieurement, ce qui permettra de les faire plus légers que s'ils devaient résister seuls, et de calfater les joints de ces bords comme ceux du fond, et 3°. de réunir solidement les bords avec le fond, et de manière néanmoins qu'on puisse les séparer facilement quand il faudra transporter ces bords sur un nouveau fond. Passons à des exemples.

30. Les figures 341, 342 et 343 sont une portion du plan, une portion de l'élévation extérieure sur la longueur, et la coupe en travers du caisson que Labeylie a imaginé pour les fondations des piles du pont de Westminster. Ce caisson avait 25^m.,987 (80 pieds) de longueur, 9^m.,745 (30 pieds) de largeur, et 5^m.,197 (16 pieds) de hauteur. Le fond, qui pose sur la terre même, est composé d'un grillage de longuerines *aa*.... de 30 cent. d'équarrissage, espacées à 65 centimètres, de milieu en milieu, et réunies en dessus, à angle droit, par des traversines ou plates-formes *bb*..., de 15 centimètres d'épaisseur. Sous les longuerines est cloué un bordage en madriers jointifs *cc*..., de 15 centimètres d'épaisseur; un autre bordage *dd*..., est cloué sur les traversines au pourtour de la maçonnerie et dans l'espace que cette dernière n'occupe pas. Le pourtour de ce fond est formé de deux rangs de longuerines *ee*..., à côté l'un de l'autre, qui forment encadrement, et d'un troisième rang de longuerines *ii*..., posé sur les deux premiers, qui comprend l'épaisseur des plate-formes et du bordage de pourtour placé au-dessus. Une feuillure est pratiquée dans le rang inférieur des longuerines, qui forment le cadre de pourtour du fond, pour recevoir le bordage de dessous.

C'est sur le rang supérieur des longuerines *ii*, du cadre du fond, que les bords du caisson étaient établis. Ils se composaient de pièces jointives de 30 à 27 centimètres de grosseur, posées horizontalement les unes sur les autres, et recouvertes sur les deux faces par des madriers jointifs disposés verticalement. Ces bords étaient attachés au fond par des corrois en fer, de manière à pouvoir s'en détacher facilement quand on voulait enlever ces bords pour les placer sur un nouveau fond. Pour maintenir les bords contre la pression des eaux, et faciliter la manœuvre, pendant la pose, transversalement au caisson, on posait des pièces de bois *kk*..., entaillées en dessous, sur lesquelles on établissait un plancher.

On conçoit que toutes les pièces du fond devaient être fortement boulonnées dans tous les sens nécessaires, ainsi que celles des bords.

31. La planche 108 renferme tous les détails d'un des caissons dont on a fait usage en 1757 pour fonder les piles du pont de Saumur. C'est la première fois que l'on a employé cette manière de fonder en France. Je crois faire plaisir au lecteur en laissant parler l'ingénieur (Louis Alexandre de Cessart) qui l'a mise en pratique ; voici comment il s'exprime:

« Le succès du recépage du pilotis de cette première pile à 7 pieds 1 pouce » (2^{m}., 32,802), sous l'étiage, fit décider à l'assemblée des ponts et chaus» sées, que nous descendissions les fondations des autres piles à 12 pieds » (3^{m}., 898), ce qui donnait environ 11 pieds (3^{m}., 573) de hauteur de ma» çonnerie, déduction faite de l'épaisseur de la plate-forme du caisson.

» Il devait résulter de cette nouvelle disposition des changemens dans la » hauteur des caissons. Les bords en furent portés jusqu'à 18 pieds (5^{m}., 847), » au lieu de 10 (3^{m}., 2,484) qu'avaient les premiers ; ce qui exigea de notre » part des manœuvres différentes. Je crois, en conséquence, devoir présen» ter le détail d'un des plus grands caissons : les opérations relatives à son » exécution seront plus intéressantes à connaître, et pourront en même » temps devenir utiles pour la construction de ceux qu'on voudrait établir, » quelles que soient les dimensions qu'on ait à leur donner.

» N'ayant rien trouvé, ni dans les chantiers de la marine, à Rochefort, » ni dans les mémoires de Labeylie, qui soit relatif à la construction de nos » caissons, il fallut concevoir une méthode qui répondît à l'importance de » nos travaux, et trouver surtout un moyen simple et en même temps cer» tain pour séparer les bords de notre caisson du fond sur lequel devait être » établi la maçonnerie.

» *Dimensions principales du fond, extraites du devis.*

» Le fond du caisson aura 48 pieds (15ᵐ., 592) de longueur FC, sur 20 » pieds (6ᵐ., 49) de largeur AE de dehors en dehors; les extrémités seront » terminées en avant-bec par un triangle isocèle BCD, AFE, dont la base » BD ou AE sera la largeur du corps carré de la pile, et les deux côtés pris » hors œuvre auront chacun 13 pieds (4ᵐ., 304); il sera composé d'un fond » en plein bois, tenant lieu de grillage, et construit de la manière suivante :

» Le pourtour de ce grillage sera formé par un cours de chapeaux AB, » BC, CD, DE, EF et FA conforme aux dimensions générales qui viennent » d'être prescrites; ils auront 16 et 18 pouces (0ᵐ., 433 et 0ᵐ., 487) d'équar- » rissage : les 18 pouces seront sur la largeur et les 16 sur la hauteur. Ils » seront assemblés dans leur longueur, en traits de Jupiter, avec la plus » grande précision. A leurs rencontres A, B, D, E avec les épaulemens des » avant-becs, ils seront seulement en recouvrement, à mi-bois, ainsi qu'à » la pointe F, C des avant-becs.

» Il sera pratiqué dans leur pourtour intérieur une feuillure de 4 pouces » (0ᵐ., 108) de largeur et de profondeur pour recevoir les abouts des racinaux » jointifs *aa*..., qui rempliront toute la superficie du fond, en observant que » ces racinaux, de 3 pieds en 3 pieds (0ᵐ., 9745 en 0ᵐ, 9745), porteront des » queues d'hironde *bb*..., entaillées au-delà de la feuillure, et le reste simple- » ment posé en pomme grasse, remplissant la feuillure et d'affleurement » aux chapeaux.

» Toutes ces pièces étant assemblées, elles seront liées entre elles par des » chevilles de bois d'un pouce (0ᵐ., 027) de grosseur, avec l'attention que » le trou ne traverse pas la pièce par dessous, afin que les chevilles ne soient » pas en saillie sous la plate-forme du caisson, et n'en dérangent point le » contact avec les pieux recépés; et pour donner plus de liaison et de solidité » à ces chevilles, elles porteront avec elles, et à leur pointe, un coin de » bois qui, étant chassé de deux manières, et par la cheville et par la résis- » tance du fond, formera une seconde tête qui rendra la sortie de la cheville » absolument impossible, et surtout dans l'eau, qui augmentera leur volume.

» Ces premières dispositions faites, et tous les joints ouverts par un » double chanfrein d'un pouce (0ᵐ., 027) de vide, on y frappera un cordon » de mousse de chêne, couvert d'un gavot cloué dessus.

» On a cru devoir, pour la plus grande solidité, et par rapport à la charge » que le fond du caisson devait porter, lier encore les deux côtés des cha- » peaux, par trois grandes barres de fer de 20 pieds (6ᵐ., 497) de longueur,

» et 2 pouces (0^m.,054) de grosseur, traversant ces chapeaux, et incrustées » dans des rainures qui longent les racinaux, pour être ensuite parfaitement » serrées dans leurs extrémités par des écrous également en fer, de 4 pouces » sur 4 (0^m.,108 sur 0^m.,108), et 2 pouces (0^m., 054) d'épaisseur, et taraudés » à pas carré.

» Tous les abouts des racinaux et les queues d'hironde seront recouverts, » dans tout le pourtour des chapeaux, d'une longuerine *c* de 8 pouces » (0^m.,216) de hauteur et 10 pouces (0^m.,271) de largeur, fixée dans le cha- » peau de 3 pieds en 3 pieds (0^m.,974 en 0^m.,974), par des boulons de » 15 lignes (0^m.,033) de grosseur, dont les têtes seront incrustées et d'af- » fleurement au-dessous des chapeaux.

» Comme il nous faut une seconde pièce de pourtour ou longuerine *d* pour » recevoir les clefs ou courroies des bords; cette pièce de 12 pouces (0^m.,324) » de hauteur et 8 (0^m.,216) de largeur sera également établie sur les raci- » naux, et boulonnée dans deux sens, savoir : à travers les racinaux, et laté- » ralement avec la première longuerine, après quoi tout l'espace renfermé » entre ces dernières pièces sera recouvert de madriers jointifs de 4 pouces » (0^m.,108) d'épaisseur, posés suivant la longueur du caisson, pour cou- » per à angles droits les joints des racinaux sur lesquels ils seront solidement » chevillés; il résulte que l'épaisseur totale du fond est, par ce moyen, de » 14 pouces (0^m.,379), et la superficie de sa base de 1,160 pieds carrés » (122^m.,403).

» *Dimensions et détail de la construction des bords.*

» Les fondations des dix piles, et de la seconde culée du pont du côté de » la ville, ayant varié depuis 7 pieds 4°. (2^m.,382), jusqu'à 15 pieds 3°. » (4^m.,954), je crois devoir détailler un caisson comme pour une fondation » moyenne de 12 pieds (3^m.,898) de profondeur.

» Labeylie avait employé des moyens très-compliqués pour assembler les » fonds de ces caissons avec les bords, ces derniers étant percés de vannes » pour introduire l'eau dans l'intérieur; ils étaient d'ailleurs divisés en plu- » sieurs parties en forme de vannage pour en faciliter la démolition; nous » ne devions pas suivre le même procédé, M. de Voglio ayant eu dessein de » construire toute la maçonnerie à sec et sans introduire les eaux dans les » caissons.

» Nous balançames cependant quelques instans à nous décider si nous ne » ferions pas les bords par tranches horizontales dans tout le pourtour, en » les plaçant successivement et à mesure que le caisson aurait pris un plus

» grand tirant d'eau; mais prévoyant que toutes les différentes manœuvres » qu'il aurait fallu faire au milieu de la rivière et souvent par des temps » contraires, deviendraient difficiles, et retarderaient considérablement l'ou- » vrage de la maçonnerie dans les instans les plus précieux, nous abandon- » nâmes cette idée, et nous prîmes d'autant plus volontiers le parti de les » élever en deux pièces, qu'ayant reconnu que chaque côté des bords, pris » dans toute leur longueur d'une pointe à l'autre, ne devait peser qu'envi- » ron 54 milliers (26,433 k., 324) sur 18 pieds (5m.,847) de hauteur, il » nous était possible de les enlever.

» Il ne nous restait plus qu'à trouver des moyens également propres à » fixer très-solidement les bords au fond du caisson qui, pendant la cons- » truction de la maçonnerie, pouvait être chargé d'environ 2,600,000 livres » (1,272,715 k., 60) avant d'échouer, et à faciliter ensuite l'opération de » l'enlèvement des bords.

» La hauteur des bords étant déterminée à 16 pieds (5m.,197) au-dessus » du fond, ils furent composés de vingt-quatre cours de bordages ou pou- » trelles d'environ 9 pouces (0m.,244) de hauteur et 6 (0m.,162) d'épais- » seur, en bois de chêne, posés horizontalement les uns sur les autres. » Chaque cours avait de longueur, d'une pointe à l'autre du caisson, » 72 pieds (23m.,388). Ces poutrelles étaient assemblées à mi-bois à leur » rencontre dans les épaulemens, chevillées en bois dans toute leur hauteur, » de deux en deux cours, observant que les chevilles fussent placées alter- » nativement et de manière à ne point se nuire.

» Pour conserver les angles formés par les épaulemens, et donner la » solidité nécessaire aux bords pendant toutes les manœuvres de leur enlève- » ment et de leur transport, nous les fîmes doubler de madriers *fff* de » 4 pouces (0m.,108) d'épaisseur, posés verticalement, dont un principal » dans l'angle, ayant 18 pouces (0m.,487) de largeur, à côté de deux autres » chacun de 12 pouces (0m.,325) de largeur; le tout bien chevillé en bois » traversant toutes les poutrelles, et les deux bouts des chevilles frappés » d'un coin de bois.

» Il a été posé en outre, sur la hauteur de ces madriers de recouvrement, » trois courbes *ggg*, de 8 pieds (2m.,599) de longueur, et 8 pouces (0m.,216) » d'épaisseur, disposées pour envelopper ces madriers, également chevillées » en bois par de fortes gournables de chêne, le tout ajusté et posé avec la » plus grande précision. (*)

(*) Labeylie a fait usage des mêmes courbes. Voyez la planche 107.

» Dans l'extrémité F des bords, et en dedans, il a été également fait sur toute » la hauteur un doublage de madriers *iii* de 4 pouces (0m., 108) d'épaisseur, » posés perpendiculairement et chevillés avec les mêmes précautions que les » précédens; entre ces madriers et ceux de l'angle formant le pan coupé de » l'avant-bec, on a placé un doublage de madriers de 4 pouces (0m.,108) » d'épaisseur, et 12 (0m.,325) de largeur; plus, cinq autres doublages *hh*.... » posés verticalement dans la longueur des bords et entre les épaulemens, » divisés également dans cette distance, et soutenus par des écharpes *ll*, » établies diagonalement, suivant les coupes et profils des dessins ci-joints.

Calfatage.

» Quant au calfatage des joints de toutes ces pièces, nous nous sommes » déterminés à suivre les féries dont on fait usage pour tous les grands » bateaux de la Loire, et de préférence au chanvre ou étoupes qu'on em- » ploie pour étancher les navires. Voici l'opération :

» On prépare d'abord les deux arètes des joints par des chanfreins, pour » leur donner au moins un pouce (0m.,027) d'entrée; on y introduit ensuite » un cordon de mousse de chêne ficelé, sur à peu près 2 pouces (0m.,054) » de grosseur, que l'on chasse à grande force avec des ciseaux de fer arron- » dis et non tranchans, frappés avec un maillet ferré, de sorte que cette » mousse se réduit à un corps très-dur qui remplit exactement le joint; » alors on a des lattes de chêne continuellement trempées dans l'eau et pré- » parées sur 1 pouce de largeur, arrondies d'un côté sur le plat et percées de » trous de 2 pouces en 2 pouces (0m.,054 en 0m.,054), avec lesquelles on » couvre le cordon de mousse, ayant l'attention, en les clouant, de chasser » les clous alternativement d'un côté du joint et de l'autre, comme pour lier » les deux côtés ensemble, à l'exception des joints des bords des caissons » qui, dans tout leur contour inférieur, posent sur les chapeaux, et dont les » lattes ne doivent être attachées qu'aux bords des caissons, afin qu'ils n'of- » frent point de résistance lorsqu'on les renverse pour les séparer du fond: » cette manière de rendre les joints étanchés, étant bien exécutée, réussit » parfaitement.

» On se sert quelquefois d'un moyen plus solide, mais qui demande un » peu plus de soin, dans les angles ou doubles retours des joints. On chasse » avec effort, au lieu du cordon de mousse de chêne, dans les joints aussi » ouverts du chanfrein, de petites tringles de bois tendre, comme du saule, » du tilleul, ou du marceau, que l'on recouvre de 2 pouces en 2 pouces » (0m.,054), de petits crampons en fer à deux pointes, qui entrent des deux

» côtés du joint. Lorsque ces joints sont plongés dans l'eau, ces bois tendres » se gonflent prodigieusement et interceptent le passage des filtrations.

Courroies.

» M. de Voglio adopta le nom de courroies, qu'avait donné Labeyly aux » tiges ou barres de fer qui descendaient le long des bords de ces caissons, » pour les attacher avec le fond; mais, ainsi que je l'ai dit, n'ayant aucune » donnée sur les moyens mécaniques, nous les remplaçâmes avec des pièces » de bois doubles *kkk*...., tant pour le dehors que pour le dedans des bords. » Leur partie supérieure *n* (fig. *b*) était en recouvrement sur les bords, et » ne pouvait descendre sans s'échapper du haut; ce qui ne pouvait s'opérer » qu'après qu'elle avait été parfaitement dégagée des entretoises supé- » rieures *oo*..., qui traversaient toute la largeur du caisson. L'extrémité » inférieure *p* de ces courroies étant coupée en demi-queue d'hironde et » serrée d'un coin de bois *m*, devait en faire toute la solidité.

» Mais comme nous nous attendions bien que cet assemblage devait se » gonfler dans l'eau, et que la désunion serait difficile, au moyen de ce que » cette opération ne pouvait avoir lieu qu'après la perfection de la maçon- » nerie, il était très-important de conserver le caisson étanché, autant que » nous le jugerions nécessaire, et même après l'enlèvement des entretoises » qui pourraient nuire à l'élévation de la maçonnerie de la pile au-dessus » des bords : nous trouvâmes le moyen d'y remédier.

» Tous ces inconvéniens disparaissaient avec la seule précaution de don- » ner deux pouces (0m.,054) de vide dans le fond *qq* (fig. *a*) de la mortaise » du bas; car, après avoir ôté les vis à écrous du haut des courroies, si on » les écarte au-delà de l'épaisseur des bords, et qu'on frappe dessus la de- » mi-queue d'hironde, elle tombe dans le vide des deux pouces (0m.,054), » et le coin n'ayant plus d'action, le tout s'enlève à la main.

» Deux percussions d'une masse de dix livres et différemment appliquées » font donc tout le succès de cet assemblage, c'est-à-dire, qu'en frappant » sur la tête du coin, on attache les bords avec le fond, et en frappant au » contraire sur la courroie, on les détache.

» Telle est toute la construction du caisson; il ne reste que quelques » formes additionnelles, indispensables à donner pour en connaître tous » les détails, lorsqu'il sera monté sur son chantier, et qu'il s'agira de le » lancer à l'eau.

Ferrures.

» Pour fixer les courroies le long des bords, je fis placer à des distances

» égales sur la hauteur de chacune, quatre boulons, ayant 20 pouces » (0m.,541) de longueur et 12 lignes (0m.,027) de diamètre, les têtes » placées en dehors et la partie de l'écrou en dedans ; mais ces écrous » portaient de ce côté une queue de dix pouces (0m.,27) de long, servant » à les serrer et les desserrer à volonté ; et ces quatre boulons, enveloppés » de mousse bien frappée, servaient à contenir parfaitement l'eau.

» Je fis adapter huit parties de chaines de fer dans la longueur des bords, » pour faciliter la manœuvre de leur enlèvement et de leur transport. Enfin, » pour les contenir ensemble et le plus promptement possible, lorsqu'ils » seraient reposés sur un nouveau fond, je fis disposer en dedans de leurs » extrémités des avant et arrière becs, deux grands crochets de 4 pieds » (1m.,30) de longueur, pour assembler fortement les pointes, et particu- » lièrement lorsque les entretoises du haut du caisson seraient enlevées, » pour continuer la maçonnerie de la pile au-dessus des bords.

Cette explication de de Cessart m'a paru propre à bien faire sentir toutes les précautions que l'on doit prendre dans la construction des caissons en général, et m'autorise à expliquer les exemples suivans, seulement pour ce qui regarde les dispositions particulières qu'ils offrent.

32. Les figures 347, 348 et 349 sont le plan, la coupe suivant la longueur et celle suivant la largeur des caissons employés pour le quai du port de Toulon, dont Bélidor a donné la description dans la seconde partie de son architecture hydraulique. Le fond de ces caissons était formé par des pièces *aa*.... de 27 centimètres d'équarrissage, dirigées dans le sens de la longueur, espacées de 70 centimètres de milieu en milieu. Ces longuerines *aa*...., étaient reliées entre elles par des traversines *bb*..., entaillées par dessus d'une partie de leur épaisseur, et bien boulonnées, et en dessous par des bordages jointifs de 11 centimètres d'épaisseur, qui fermaient le passage à l'eau.

Les bords étaient composés de poteaux *cc*..., affleurés intérieurement par des madriers jointifs de 11 centimètres d'épaisseur, disposés verticalement pour remplir l'entre-deux des poteaux, le tout étant réuni par des liernes *dd*..., au moyen de boulons et de clous.

Pour réunir les bords au fond, on se servit de courroies en fer qui s'attachaient au fond, au moyen de forts crochets *ccc*,...., solidement arrêtés dans les pièces de rives de fond, et en haut par des écrous qui forçaient sur les bouts de traversines posées sur les bords du caisson.

33. Les figures 350, 351 et 352 sont une portion du plan, une portion de la coupe en longueur et une portion de la coupe en travers du grand caisson

que M. Groignard construisit pour la forme du port de Toulon. Le fond se compose de traversines *aa*.., formées chacune de deux cours de pièces de 32 centimètres d'équarrissage, posées verticalement l'une sur l'autre et boulonnées, espacées tant plein que vide, et reliées par des longuerines *bb*..., éloignées de 4^{m}.,55 de milieu en milieu, formées de quatre cours de pièces de 32 centimètres d'équarrissage, dont trois sont placées jointivement en dessous, et une en dessus; toutes sont entaillées à leur rencontre avec les traversines, et assujéties par des boulons. Dans les intervalles de ces longuerines, sont cloués sous les traversines des bordages de 11 centimètres d'épaisseur. Cette disposition de fond de caisson n'est convenable que dans le cas où le caisson doit reposer sur un fond de terre régalé de niveau, et non sur un pilotis.

Les bords du caisson dont il s'agit ici sont construits comme le fond, et offrent cette particularité qu'ils sont évasés vers le haut. Cet évasement est nuisible, en ce qu'il donne prise à l'eau qui par là tend à soulever les bords avec plus de force, et les séparer du fond, avant que la maçonnerie ne soit arrivée à la hauteur convenable, ce qui exige des courroies plus fortes qu'il ne faudrait sans cet évasement. Les bords de ce caisson sont en outre composés de trop de bois, quoiqu'il soit d'une grandeur considérable, qui est de 97 mètres de longueur et 31 mètres de largeur.

34. La figure 353 est une portion du plan du caisson qu'on a employé aux ponts des Arts, du Jardin du Roi (qu'on nommait autrefois *le pont d'Austerlitz*), sur la Seine, à Paris. Le fond est construit de la même manière que celui des caissons du pont de Saumur. La figure 354 est la moitié de la coupe sur la longueur de ce caisson. On voit dans cette coupe les crochets en fer qui réunissent les panneaux dont les bords étaient formés. La figure 355 est une portion du plan du caisson vu par dessus, la figure 356 la moitié de l'élévation suivant la longueur, où l'on voit les courroies en fer qui relient les bords au fond; la figure 357 est la moitié de la coupe en travers, et la figure 358, la moitié de l'élévation dans le sens de la largeur du caisson.

35. L'exemple de caisson dont la figure 359 est le plan, la figure 360 la moitié de la coupe en longueur, la figure 361 la moitié de l'élévation en longueur aussi, la figure 362 la moitié de la coupe en travers, et la figure 363 la moitié de l'élévation sur la largeur, est celui qu'on a employé au pont situé en face du Champ-de-Mars, à Paris, qui portait le nom de pont d'Iéna.

Ces derniers exemples de caissons, ainsi que celui du pont de Saumur, avec lequel ils ont beaucoup de ressemblance, sont disposés convenablement pour le cas où le fond doit reposer sur un pilotis.

6me. LEÇON.

Des Gares, des Estacades ou murs de quai, et des Digues ou Barrages.

36. Les gares, les estacades et les barrages sont des ouvrages du même genre, sous le rapport de leur construction; ils n'ont que plus ou moins d'importance, selon les circonstances dans lesquelles ils sont employés.

Des Gares.

Les gares ont pour objet de former des abris aux bateaux, contre les glaces, pendant l'hiver, et aux vaisseaux, contre les vagues de la mer, dans les mauvais temps. Elles sont à clairevoie ou fermées, selon que les localités le demandent. Dans la longueur de cette espèce de rempart, on pratique une ou plusieurs ouvertures pour donner entrée aux bateaux ou aux vaisseaux dans la gare que l'on ferme et que l'on ouvre à volonté. Ces fermetures sont plus ou moins importantes; elles sont quelquefois de véritables portes d'écluses.

Les gares se composent de fermes établies sur deux ou un plus grand nombre de files de pieux. Ces fermes sont fortement réunies aux pieux par des moises, des bracons et de forts boulons. Toutes les figures des planches 111 et 112 sont des exemples de fermes de gare. On espace ces fermes plus ou moins, suivant les circonstances, et on les réunit par des liernes marquées *a* dans les profils donnés dans les planches 111 et 112, fortement boulonnées avec les pieux ou les poteaux entés sur ces derniers. Quelquefois ces liernes sont moisées à l'endroit de l'enture, ainsi qu'on le voit indiqué dans quelques-uns des mêmes profils, par la lettre *b*. D'autres moises, soit horizontales *c*, soit inclinées *d* (1), doivent fortement réunir et les files de pieux, et les poteaux entés sur ces derniers, et les contrefiches *e*. Ces fermes peuvent servir également pour les gares à claires-voie et pour les gares fermées. Dans ce dernier cas, contre les montans de face, soit intérieurement soit extérieurement, selon les circonstances, on cloue jointivement des bordages de 10 à 15 centimètres d'épaisseur, comme on le voit en coupe

(1) Ces moises inclinées se nomment *bracons moisés*. En général on appelle bracon toute pièce de bois qui soutient en reliant, en forme de console, de poteau. Il y a des bracons qui ne sont pas moisés.

dans les planches 111 et 112. Derrière ces bordages, on fait souvent une levée en terre ou en moëllons, qui, par sa masse, consolide la charpente de la gare, et lui permet de résister plus long-temps aux secousses qu'elle peut éprouver par le frottement des glaces ou le choc des vagues de la mer. Dans ces derniers cas, les gares prennent le nom d'*estacades*, et peuvent tenir lieu de mur de quai, ou former les parois d'un canal, d'une cale, etc.

Des Barrages ou Digues.

37. Les digues sont des levées avancées dans une rivière, pour détourner le courant quand il se dirige de manière à venir miner les bords et envahir les propriétés riveraines. Les barrages, qui ne sont autres choses que des espèces de digues, sont disposés en travers des rivières qui ont une trop grande pente, ou pas assez de profondeur pour être navigables. Ces digues servent à retenir le courant, et rendre ainsi la pente moins rapide, et la profondeur du lit plus considérable. Ces barrages, ou s'élèvent au-dessus de la hauteur des eaux ordinaires, de manière qu'ils font l'office de déversoirs dans les grandes crues, ou ne s'élèvent qu'à une moindre hauteur, et sont alors des déversoirs permanens. On choisit l'un ou l'autre parti, selon les circonstances de localité, en évitant toujours d'inonder les propriétés riveraines. Dans tous les cas, il faut pratiquer une ouverture dans le barrage, pour faire passer les bateaux ; c'est-à-dire qu'à l'endroit de cette ouverture, le déversoir qui forme la retenue soit plus bas qu'ailleurs ; et comme ce déversoir occasionne une différence de niveau dans le lit de la rivière, il faut, pour éviter les accidens qui pourraient arriver, en laissant précipiter le bateau dans la chute résultant de cette différence de niveau, et aussi pour rendre la remonte des bateaux possible, il faut, dis-je, qu'à cette ouverture soit disposée une écluse à sas, armée de portes busquées, au moyen desquelles il sera aussi facile de faire monter les bateaux que de les faire descendre, et cela sans le moindre danger.

Une écluse à sas se compose de trois parties essentielles : les écluses supérieures et inférieures, et le sas qui les séparent, qui est un espace destiné à recevoir les bateaux.

Au moyen des portes busquées placées dans les écluses, on peut, en interposant un sas aux deux biefs (*), y faire monter ou baisser le niveau de l'eau ; et lorsque ce niveau est, dans le sas, à la hauteur nécessaire pour pouvoir ouvrir les portes des écluses, on fait entrer le bateau, on ferme

(*) On appelle *bief* ou *biez* la partie de la rivière en amont, et la partie en aval du barrage.

les portes qu'on avait ouvertes, et après avoir fait monter ou descendre le niveau dans le sas, on rouvre de nouveau les portes pour faire passer le bateau dans le bief au niveau duquel on l'a fait arriver.

« La sûreté et la facilité de la navigation au moyen des sas à écluses, dit » M. Sgauzin, doit les faire préférer dans toutes les circonstances, malgré » l'augmentation des dépenses qu'ils occasionnent; » et certainement tous les bons esprits, ceux qui entendent la véritable économie en fait de construction, seront de son avis.

Gauthey observe, dans son second mémoire sur les canaux, qu'il convient mieux de placer l'écluse à sas hors de la rivière, de manière que l'axe longitudinal du sas soit le prolongement de celui du barrage lui-même, de manière que le bateau entre dans l'écluse en longeant le barrage, et en sorte de la même façon de l'autre côté de la digue. Cette disposition met l'écluse à l'abri de plusieurs inconvéniens dont la discussion est étrangère au sujet principal que nous traitons ici, qui a pour objet la meilleure manière de disposer des pièces de bois pour faire un ouvrage quelconque de charpente.

Comme l'écluse à sas d'un barrage se construit de la même manière que celles d'un canal, il en sera parlé ci-après : ici il ne sera question que du barrage en lui-même.

Pour qu'une digue ou un barrage résiste à la pression que l'eau exerce contre en ralentissant son mouvement, il faut qu'elle soit établie sur plusieurs files de pieux enfoncés aussi profondément que possible; que ces pieux soient reliés les uns aux autres, et avec les poteaux entés dessus, par des moises, des bracons et des liernes fortement boulonnés, et disposés de manière à offrir la plus grande résistance au courant du fleuve. Les dessins que les planches 113, 114 et 115 contiennent, en sont des exemples que je crois bien choisis. Le premier est, au rapport de M. Krafft, une digue de barrage exécutée en travers de la rivière à Saint-Luc; le second, une digue de garantie, exécutée en 1789, au port de Dieppe, par Lamblardie, inspecteur général des ponts et chaussées, et le troisième est une digue projetée par M. Lomet, adjudant-général, pour être établie sur une ancienne digue détruite sur le Lot, près Fumel.

Ces dessins me paraissent assez clairs pour être entendus sans être accompagnés d'une explication détaillée.

Pour qu'une digue ou un barrage ne puisse être affouillé, il faut la garantir par un *radier*, ou plancher établi sur un pilotis, dont l'étendue sera déterminée par les localités. C'est surtout au droit des déversoirs qu'un radier devient indispensable, et que sa construction demande le plus de

soin. Les déversoirs doivent être faits en madriers jointifs formant un plancher incliné, et même courbe, de manière à conduire les eaux au loin, et les empêcher de tomber verticalement au pied du barrage, même sur un radier, afin d'éviter une des causes de destruction les plus puissantes dans ces sortes d'ouvrages. Les déversoirs disposés de cette manière, s'appellent *pertuis*, *passelis* ou *portières*, lorsqu'ils donnent passage aux bateaux (*).

7me. LEÇON.

Des Ecluses en général, et des Portes qui servent à les mettre en jeu.

38. Il y a deux classes principales de canaux, les canaux d'irrigation, et ceux de navigation. Les premiers sont de simples rigoles ou fossés, plus ou moins larges et profonds, plus ou moins importans, destinés à détourner une partie des eaux d'une rivière et les conduire dans des plaines, soit pour les arroser, soit pour mettre des usines en mouvement. Quant aux canaux de navigation, ils sont divisés en deux classes : les canaux en plaine, ou dans une même vallée, et les canaux à point de partage.

Les premiers servent à rendre navigable un cours d'eau qui ne l'est pas naturellement. Les seconds sont ceux qui établissent une communication entre deux fleuves ou deux mers séparés par une chaîne de montagnes dont il faut franchir la hauteur, au moyen de ce qu'on appelle *écluse*.

Notre but n'est point d'entrer ici dans les considérations qui conduisent à déterminer les principes qui doivent servir de guides dans la composition d'un projet de canal ; de sorte que nous ne nous occuperons nullement du choix des points de partage, de la détermination des hauteurs de chute et de la dépense d'eaux des écluses, ni de tous les autres principes qui n'ont pour objet que la théorie relative à ce genre important de construction. Ce qui va nous occuper exclusivement, c'est la manière de faire les écluses, prises isolément, de la manière de les mettre en jeu, et de faire tout ce qui concerne leur construction particulière, et qui peut s'exécuter en bois.

(*) Nous pourrions encore développer un nouveau système de barrage à bateaux vannes, imaginé par M. Urbain Sartoris, et publié dans le journal du Génie civil; mais nous aimons mieux renvoyer le lecteur au n°. 4 de ce journal, année 1828, où l'auteur discute son idée.

Des Ecluses en général.

39. Les écluses sont simples ou à sas.

Les écluses simples ne sont guère employées qu'à l'embouchure d'un canal d'irrigation, pour établir ou intercepter, à volonté, la communication entre le canal et la rivière qui l'alimente, et par là éviter les inconvéniens qui pourraient résulter de cette communication, pour les propriétés riveraines, lors des crues de la rivière. Les écluses de *chasse* sont quelquefois simples aussi. On donne ce nom aux écluses destinées à retenir une grande masse d'eau dans les ports de mer assujétis aux flux et reflux, à laquelle on livre passage à volonté, pour qu'elle emporte à la mer, par son impétuosité, les dépôts de graviers, de galets, de sable, etc. qui se forment dans le canal (qu'on appelle *chenal*), qui donne entrée aux vaisseaux dans le port.

Les écluses à sas, sont celles qui servent, dans les canaux de navigation, à faire monter ou descendre les bateaux. On en distingue plusieurs espèces : les grands et les petits sas, les sas ovales et les sas rectangulaires.

Les écluses à grands sas sont destinées à faire passer plusieurs bateaux à la fois, et celles à petits sas ne permettent le passage qu'à un seul bateau. Il résulte des observations et des calculs de Gauthey, dans le mémoire cité, que les grandes écluses sont moins avantageuses, sous tous les rapports, que les petites. On préfère aussi les sas rectangulaires aux sas ovales. Il y a des écluses contiguës et des écluses isolées ; les écluses contiguës occasionnent une plus grande dépense d'eau que celles qui sont séparées par des biefs, et qui font arriver les bateaux à la même hauteur. Nous passons légèrement sur ces hautes questions, pour ne pas sortir de notre sujet.

Le sas d'une écluse est la chambre où l'on fait entrer le bateau, pour le faire arriver au niveau du bief dans lequel on veut le faire entrer, en élevant ou abaissant l'eau contenue dans le sas, par le jeu des portes placées aux bouts du sas, entre deux murs d'épaulement qui forment comme les jambages de ces portes. On distingue la porte d'amont et la porte d'aval. Chaque porte et ses jambages constituent une écluse simple. On donne aux jambages d'une écluse simple le nom de *bajoyer*. Une écluse à sas se compose donc de deux écluses simples, entre lesquelles est le sas qui les réunit.

Le genre de construction qui convient le mieux aux écluses, soit simples, soit à sas, soit isolées, soit contiguës, est sans contredit la maçonnerie, et même cette maçonnerie exige de plus grandes précautions que dans tout autre ouvrage. Cependant, on peut encore les construire en charpente, et alors cette construction est la même, pour les parois, que celle des gares fermées

nombre, pourrait consulter le recueil de M. Krafft, où il trouvera les dessins des principaux canaux construits en bois dans différens pays de l'Europe. Je puis donc passer de suite à l'explication des différentes espèces de portes d'écluse, pour compléter ce qui concerne les canaux, sous le rapport de la charpente.

Des Vannes et des Portes d'écluse.

40. Les vannes sont des espèces de portes qu'on emploie dans les canaux d'irrigation; on s'en sert aussi dans les écluses de chasse. Leur construction et le mécanisme au moyen duquel on les ouvre ou on les ferme, varie suivant les circonstances de localité et surtout suivant les effets qu'on veut produire. De là résultent plusieurs espèces de vannes :

1°. Les vannes qu'on ouvre et qu'on ferme en les faisant mouvoir verticalement dans les coulisses (pl. 117);

2°. Celles qu'on ouvre et qu'on ferme en les faisant tourner sur un axe vertical (pl. 118);

3°. Celles qu'on ouvre et qu'on ferme en les faisant tourner sur un axe horizontal; cet axe étant au-dessus du niveau des eaux (pl. 119), ou, au contraire, dans le fond du canal (pl. 120);

4°. Enfin celles qui tournent sur un axe vertical placé de manière à diviser la largeur de la porte en deux parties inégales (pl. 121);

Quant aux portes d'écluse, elles s'ouvrent en tournant autour d'un axe vertical, formant l'un des bords du châssis de chaque ventail. Nous en distinguerons deux espèces principales, celles à faces droites, et celles à faces cylindriques.

Des Vannes qui s'ouvrent en glissant verticalement dans des coulisses, ou des Vannes montantes.

41. La planche 117 contient les plans et les coupes d'une partie de canal à vanne montante. Cette vanne est formée d'un châssis dans lequel deux rangs de planches plus ou moins épaisses, cloués à angle droit l'un sur l'autre, viennent s'embreuver. De fortes équerres en fer entaillées de leur épaisseur aux angles de ce châssis, maintiennent les assemblages. Les bords verticaux de la vanne entrent chacun dans une coulisse *bb*, fixée, par des entailles et des boulons, dans les parois du canal, et lorsque la vanne est abaissée, elle entre dans une espèce de seuil évidé en rainure par dessus. Ce seuil entre d'une partie de son épaisseur dans le radier, comme on le voit en profil dans la coupe en longueur. Pour faire mouvoir la vanne, deux

anneaux *aa*, à fourchettes, embrassent la vanne, et y sont fixés par deux petits boulons qui les traversent. A ces anneaux sont attachées deux cordes qui s'enroulent sur un treuil, qu'on fait tourner, soit avec des leviers, soit avec une ou deux roues à chevilles. On voit que dans notre exemple nous avons supposé le dernier cas. Ce treuil est soutenu par deux chevalets établis sur les poutres qui forment les bords supérieurs des parois du canal. Le plan du radier fait voir le seuil de la vanne en dessus, et les sections horizontales *cc* des coulisses verticales. Les parois du canal sont, comme on voit, en charpente avec madriers jointifs sur les faces, et en maçonnerie de briques ou de moëlons par derrière les bordages. Cet exemple de vanne est construit sur le canal de chasse d'Amsel, près Amsterdam.

Des Vannes levantes et tournantes tout à la fois.

42. La vanne dont la planche 118 offre le plan, la coupe en travers et celle en longueur, est en usage dans les canaux d'irrigation qui sont près de Valenciennes. Ici les parois du canal sont en maçonnerie; le canal est rétréci au droit de la vanne, de manière que les parois forment un ressaut ou battement contre lequel la vanne est poussée par la pression de l'eau, et peut glisser pour monter et descendre, au moyen des chaînes *aa*, qui passent sur les poulies *bb*, et vont s'attacher à des tringles de fer *cc*, qui se réunissent à une entretoise *dd* également en fer. Cette entretoise est percée en son milieu d'un trou taraudé, dans lequel passe une vis de rappel *ee*, fixée à une roue dentée *g*, qui s'engrène dans une lanterne *i*, qu'on fait tourner au moyen de la manivelle *f*. On conçoit qu'en faisant tourner la manivelle, la vis de rappel tourne en même temps, les tringles *cc* avancent d'un côté ou de l'autre, et par conséquent la vanne monte ou descend suivant qu'on a tourné la manivelle dans un sens ou dans un autre.

La bascule AB s'appuie sur un pivot C, sur lequel elle peut tourner, de sorte que, quand on le juge convenable, on peut faire tourner la vanne, et la loger dans un renfoncement pratiqué dans la paroi du canal sur laquelle est le pivot de la bascule.

Des Vannes tournant autour d'un axe horizontal.

43. M. Lepeyre, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, a imaginé une vanne de chasse (pl. 119), qui tourne sur un axe horizontal AA (fig. 392 et 393), situé à sa partie supérieure, et qui est fixée par le bas, quand on veut la fermer, par un seuil mobile *aa* (fig. 392 et 391), qu'on fait monter par le moyen de deux solives verticales BB, logées dans des

rainures pratiquées dans les parois du canal, dans le bas desquelles est un œil en fer dans lequel des tourillons implantés dans les bouts du seuil mobile viennent passer. Aux bouts supérieurs de ces solives verticales est une mouffle en fer D (fig. 392), dans laquelle tourne la tête d'une vis de rappel C, mise en mouvement par le double levier E. Suivant qu'on fait tourner la vis de rappel à droite ou à gauche, le seuil mobile s'abaisse ou s'élève. Quand on élève le seuil, il vient contre la traverse inférieure de la vanne, et s'oppose à la pression de l'eau qui agit en sens contraire. En amont est un second seuil fixe *b* (fig. 392 et 391), qui sert de battement à la vanne. Quand on veut ouvrir la vanne, on baisse le seuil mobile qui s'enfonce dans une grande rainure pratiquée dans le radier, et la pression de l'eau fait ouvrir la vanne en la faisant tourner sur l'axe horizontal A. Au moment où l'équilibre est établi entre la pression de l'eau et le poids de la vanne, on fait agir un treuil F au moyen d'une manivelle G, pour élever cette vanne au-dessus de l'eau, et la garantir des agitations que le courant lui ferait éprouver. Rien n'est donc plus facile que d'ouvrir cette vanne; mais est-il aussi aisé de la fermer? Non, sans doute, à moins d'attendre que le niveau soit établi dans les deux biefs du canal, et que le courant n'existe plus; car, dans ce cas, il suffira de descendre la vanne, au moyen du treuil, jusqu'à ce que, par son propre poids, elle vienne toucher le seuil fixe *b*, et laisse monter le seuil mobile *a*. Mais, dans le cas contraire, on conçoit que le courant s'opposera à la justa-position du bas de la vanne et du seuil fixe, et que, par conséquent, le seuil mobile ne pourrait pas monter derrière la porte pour la fermer. Il faudrait pouvoir communiquer au bas de la vanne une force capable de surmonter la pression de l'eau courante, qui, dès l'instant que la vanne touchera l'eau, ira en augmentant par la chute qui s'établira par le changement de niveau qui aura lieu aussitôt. Cependant il peut se présenter des circonstances où il soit très-important d'arrêter la chasse bien avant qu'elle puisse naturellement cesser d'agir.

Il serait donc nécessaire de perfectionner cette disposition de vanne, en substituant au treuil F, et aux cordes IH, deux grands arcs de cercle en fer dentés, construits comme dans l'exemple suivant, mais d'une disposition contraire, qui s'engreneraient en G dans des crics attachés sur le plancher du pont posé en cet endroit au travers du canal. Non-seulement cette disposition satisferait à la condition imposée plus haut, mais elle ne diminuerait en rien la facilité d'ouvrir la vanne, en se servant de crics dont les lanternes pourraient être facilement écartées des dents des arcs de cercle, pour désengrener et engrener à volonté, dans un temps

très-court, et même en employant des crics ordinaires, que la pression de l'eau ferait naturellement tourner en sens contraire, et même retarderait le mouvement de la vanne, et diminuerait de cette manière la violence du choc des eaux, qui est une cause puissante de dégradation dans les ouvrages.

44. Le même ingénieur a imaginé une autre manière de faire jouer les vannes de chasse, dont la planche 120 offre les plans et les coupes. Dans cet exemple, l'axe horizontal A (fig. 396), autour duquel la vanne fait son mouvement, est situé au bord inférieur de la vanne, et en forme la traverse du bas. Dans les montans des châssis de la vanne, qui viennent battre contre des feuillures pratiquées dans les parois du canal, est assemblé un quart de cercle en bois BB, fortifié par d'autres pièces de bois disposées comme on le voit dans la figure 396, dont tous les assemblages sont maintenus par des bandes de fer à deux branches. Ces deux quarts de cercle sont liés ensemble par une entretoise C (fig. 394).

Ces quarts de cercle sont armés d'une bande de fer plat BB, courbée suivant le quart de cercle, et découpée de dents qui s'engrenent avec une lanterne D, qui s'engrene à son tour avec un pignon E surmonté de volans FF (fig. 395, 396 et 397).

Pour tenir la porte fermée, malgré la pression de l'eau, une poutre G est suspendue horizontalement à deux bandes de fer verticales, fixées à écrous à une poutrelle horizontale K, scellée dans les parois du canal, et percées d'un trou rond à leurs bouts inférieurs, dans lesquels passent des tourillons implantés dans les bouts de la poutre G. Ces tourillons sont placés un peu plus haut que le milieu de l'épaisseur de la poutre G, pour que, par son propre poids, cette dernière puisse osciller comme un pendule, et venir s'appliquer par une de ses faces latérales contre la vanne. Le mouvement de cette poutre-tourillon doit être assez libre pour que la porte, en s'ouvrant, puisse la faire tourner et passer dessous, pour la laisser osciller ensuite. Pour empêcher cette poutre-tourillon de tourner, et laisser ainsi la vanne s'ouvrir, une seconde poutre horizontale H est abaissée par le moyen des vis de rappel II, de manière que la poutre-tourillon étant poussée par la vanne, s'appuie contre cette poutre H qui l'empêche de tourner, de sorte que la vanne ne peut plus s'ouvrir, à moins qu'au moyen des mêmes vis on fasse remonter la poutre H.

En faisant donc monter la poutre H, la vanne s'ouvrira d'elle-même par la seule pression de l'eau, et son mouvement sera ralenti par l'engrenage et les volans F. Cette vanne viendra s'abattre sur le radier, et l'eau passera dessus. Lorsqu'on voudra relever cette vanne pour la fermer, on mettra

l'engrenage en mouvement; et quand la vanne sera dans la position verticale, et que la poutre-tourillon G sera retombée derrière, on fera descendre la poutre H, et la vanne sera fermée.

Je crois que la poutre-tourillon G est inutile et même embarrassant, et qu'il vaudrait mieux se contenter de la poutre H, la faisant venir tout contre la vanne; car on ne conçoit pas trop l'idée qui a porté l'auteur à mettre ce tourillon G, qui, à la vérité, ne gêne pas quand la porte s'ouvre, mais bien quand elle se ferme. Ainsi il a compliqué son mécanisme mal à propos, et deux poutres G, K, deviennent inutiles.

Porte d'écluse de chasse tournant sur un axe vertical, divisant la largeur de la porte en deux parties inégales.

45. Supposons que la pièce de bois GG (pl. 121) soit l'axe vertical autour duquel la porte doit faire son mouvement. Pour que cet axe soit mobile, et qu'en même temps il soit solidement maintenu dans la position verticale, on logera, de toute leur épaisseur, trois poutres AA, BB et CC (fig. 398, 401 et 400), de manière que ces trois poutres affleurent le fond du canal. Celle du milieu sera percée d'un trou dans lequel on fixera une crapaudine qui servira de point d'appui à l'axe de la porte, et dans laquelle cet axe pourra tourner librement. Cette crapaudine doit être assez profonde pour que la pression de l'eau ne puisse pas faire échapper l'axe. Trois autres poutres semblables DD, EE et FF (fig. 399, 401 et 400) seront scellées horizontalement dans les parois du canal, un peu au-dessus de la porte, et à plomb des trois premières, pour que l'axe de la porte vienne tourner dans un trou rond, pratiqué dans la poutre du milieu. Les trois poutres formant le seuil de la porte, et les trois du haut, seront fortement réunies par des boulons à écrous.

Pour former la porte *abcd* (fig. 400), on en divisera la hauteur *ab* en autant de parties égales qu'on le jugera nécessaire; des traverses horizontales répondront à ces points de division, et seront entaillées de la moitié de leur épaisseur dans l'axe GG, de manière que les entailles pratiquées dans l'axe soient du côté d'amont, et par conséquent celles des traverses en sens contraire, pour que ces pièces de bois résistent à la pression de l'eau avec le plus de force possible. Deux montans *ab*, *cd* viendront s'assembler avec les traverses à tenons et mortaises, et tous ces assemblages seront assurés par des platines de fer boulonnées ou vissées. Pour que le poids de la porte n'agisse pas sur la traverse du bas, mais bien sur l'axe GG, des bracons *ef*, *gh*, *ik*, *lm*, seront entaillés à demi-épaisseur avec les traverses horizon-

tales, et assemblés à tenons et mortaises dans l'axe et les montans de la porte. L'axe, les deux montans et les deux traverses inférieure et supérieure auront la même épaisseur, et porteront une feuillure du côté d'amont, dans laquelle on clouera fortement des madriers, d'une épaisseur plus ou moins considérable, qu'on disposera parallèlement aux bracons, sur lesquelles et les traverses horizontales intermédiaires, ces madriers seront encore fortement cloués, et la porte sera terminée.

Pour faciliter son mouvement autour de l'axe, et la faire fermer le plus hermétiquement possible, on assemblera deux poteaux HH dans la pièce du milieu du seuil, et dans sa correspondante en haut, qui seront logés de presque toute leur épaisseur dans les parois du canal, comme on le voit dans la figure 398; leurs faces extérieures se joindront avec celles des montans, et seront taillées obliquement pour faciliter le mouvement de la porte et la jonction des montans de la porte et des poteaux.

Il s'agit maintenant d'expliquer le mécanisme qui doit tenir la porte fermée, malgré la pression de l'eau, qui tend naturellement à la faire tourner sur son axe, à cause que cet axe divisant la largeur de la porte en deux parties inégales, la pression de l'eau agit plus d'un côté que de l'autre. Ces deux pressions inégales sont dans le rapport des superficies des deux parties de la porte, qui sont supposées entre elles :: 2 : 3; de sorte qu'en divisant cette pression en cinq parties égales, on trouvera que la différence des deux pressions est $\frac{1}{5}$ de la pression totale. Ainsi la force nécessaire pour tenir la porte fermée doit être un peu plus grande que le $\frac{1}{5}$ de cette pression totale. Si cette force était égale aux $\frac{2}{5}$, elle aurait toute la stabilité nécessaire, puisqu'elle serait double de celle qui établirait l'équilibre.

Voici ce mécanisme, qui est celui qu'on a exécuté à l'écluse de chasse du port de Dieppe.

Contre le montant du grand côté de la porte est un poteau-tourillon II, tournant sur un pivot scellé dans le seuil AA, et autour d'un tourillon scellé dans la poutre correspondante DD, situé en haut. Ce poteau-tourillon est arrondi par derrière; il a plus de largeur que d'épaisseur, pour qu'il puisse recouvrir la porte au moins de 10 cent., et ses pivots sont placés aux centres de l'arrondissement de derrière, afin qu'il puisse tourner par la pression de l'eau, et se loger derrière le poteau dormant H, et laisser passer la porte quand on veut l'ouvrir. Pour que la porte reste fermée, on conçoit qu'au contraire il faut empêcher que ce poteau tourillon II tourne, et pour cela on a imaginé une pièce de bois verticale KK, mobile au moyen de leviers en fer *n*, tournant sur des axes en fer traversant cette pièce mobile, et une

autre pièce verticale fixe L. Quand on veut empêcher le tourillon II de tourner, et par conséquent la porte de s'ouvrir, on fait descendre la pièce de bois KK, au moyen de la vis N, qui fait baisser le curseur M, auquel est fixé l'extrémité du levier *o*, qui communique à la pièce K; l'abaissement du curseur M fait que le poids de la pièce KK agit sur les leviers mobiles *n*, pour leur donner une position horizontale; et comme leur longueur ne varie pas en s'abaissant sous le poids de la pièce KK, ils portent cette pièce contre le tourillon II, qui dès-lors ne peut plus tourner, et empêche conséquemment la porte de s'ouvrir. Au contraire, quand on veut que la porte s'ouvre, on fait monter le curseur M par la vis N, et le levier *o* entraîne avec lui la pièce KK, qui, en s'élevant, fait tourner les leviers *n* qui l'attirent vers le poteau fixe LL, en l'écartant du tourillon II; que la porte en s'ouvrant fait tourner dès que la pièce KK est assez écartée pour cela.

Des Portes d'écluse de navigation.

46. Les portes d'écluse de navigation se composent de deux ventaux, qui, lorsqu'ils sont fermés, forment entre eux un angle plus ou moins obtus. Le sommet de cet angle est toujours tourné en amont, pour que les portes s'opposent le plus avantageusement possible à la pression de l'eau. Chaque ventail se compose:

1°. D'un poteau-tourillon AA (pl. 122, 123 et 124), armé d'un pivot *a* à son extrémité inférieure, et arrondi à sa partie supérieure, à l'endroit où un collier en fer scellé dans le chardonnet vient l'embrasser, dans lequel le poteau-tourillon, qui est l'axe de rotation de la porte, tourne verticalement sur son pivot;

2°. D'un autre poteau BB, qu'on appelle *poteau busqué* ou *poteau délardé*, qui forme le bord du ventail qui va se joindre avec le poteau pareil de l'autre ventail, quand on ferme la porte;

3°. De deux traverses, l'une inférieure CC, l'autre supérieure DD, qui s'assemblent à tenons et mortaises dans les poteaux-tourillons et délardés, de manière que ces quatre pièces de bois forment le châssis du ventail. Elles sont de la même épaisseur.

Dans le pourtour intérieur de ce châssis, on pratique deux feuillures dans lesquelles (pl. 122) on cloue fortement des rangs de madriers, qui affleurent les bords du châssis sur les deux faces du ventail. Les madriers de l'un des deux rangs sont disposés verticalement (fig. 404), et ceux de l'autre rang, suivant la diagonale du ventail (fig. 403).

Entre ces deux rangs de madriers sont interposées des traverses horizontales EE, FF, dont celles EE ont une épaisseur seulement égale à la distance comprise entre les deux rangs de madriers, et celles FF une épaisseur plus grande de toute celle d'un rang de madriers. Ces traverses FF affleurent donc la face extérieure des madriers disposés verticalement. On voit la coupe de toutes ces traverses et celle des deux rangs de madriers dans la figure 405. Toutes ces traverses, sur lesquelles les madriers sont solidement cloués, sont assemblées à tenons et mortaises dans les montans du châssis. Les madriers disposés suivant la diagonale du châssis ont pour objet de reporter le poids du ventail sur le poteau-tourillon, et d'empêcher, par conséquent, les angles du châssis de varier.

Deux rangs de madriers ne sont pas nécessaires ; le plus ordinairement on n'en place qu'un du côté où se fait la pression de l'eau, comme on le voit dans les planches 123 et 124 ; et les madriers de ce simple rang peuvent être disposés verticalement comme dans la planche 123, ou suivant la diagonale, comme dans la planche 124. Les traverses EE alors affleurent la face opposée du châssis, et ont une épaisseur moindre que ce dernier de toute celle des madriers. Les assemblages de ces traverses avec les bords du châssis sont consolidés par de doubles équerres en fer, et le poids du ventail est porté sur le poteau tourillon AA, par un (pl. 123) ou plusieurs (pl. 124) bracons GG, entaillés à demi-épaisseur avec les traverses horizontales. Quand on met plusieurs bracons, on doit les mettre au-dessus de celui placé suivant la diagonale, et jamais au-dessous, parce que ces derniers chargeraient la traverse du bas du châssis inutilement. Quelquefois on ajoute un bracon en fer H (pl. 123), qui achève de donner à la porte toute la solidité désirable.

Comme ce sont les traverses horizontales qui supportent la plus grande partie de la pression de l'eau, et que cette pression est d'autant plus forte que l'on s'approche davantage du fond du canal, l'inspecteur général Gauthey conseille, dans le mémoire déjà cité, de proportionner l'équarrissage de ces traverses, à la profondeur à laquelle elles se trouvent dans l'eau, ce qui fait que celles du bas sont plus grosses que celles d'en haut. On pourrait remplir le même objet, comme le remarque M. Sganzin, en les faisant égales en grosseur, et en les espaçant inégalement, de manière que celles du bas seraient plus près les unes des autres que celles du haut, de sorte que leur écartement serait en raison inverse des pressions. Pour rendre les portes d'écluse encore plus parfaites, il faudrait encore déterminer la forme des morceaux de bois, d'après la théorie de la résistance des solides d'égale résistance, théorie qu'on trouvera dans la suite de ce cours de construction.

Il y a plusieurs moyens de faire passer l'eau du sas de l'écluse supérieure dans celui de l'écluse inférieure, pour établir le niveau dans les deux sas, afin de pouvoir ouvrir les portes et faire passer le bateau d'un sas dans l'autre. Un de ces moyens, le seul qu'il importe dans ce moment, est celui de pratiquer une ouverture dans l'un des ventaux de la porte, ou dans les deux, que l'on ferme par une petite vanne ou ventelle quand on veut empêcher l'eau de s'échapper, et qu'on ouvre au contraire quand on veut la laisser couler. La construction de ces ventelles est suffisamment indiquée dans les planches 122, 123 et 124. Le mécanisme qu'on emploie pour ouvrir et fermer ces ventelles, est, ou une espèce de treuil autour duquel une chaîne s'enroule, comme on le voit dans la planche 122; ou un levier qui communique à la ventelle par une tringle de fer, ce que fait voir la planche 124, ou bien enfin un cric à crémaillère, ainsi que la planche 123 l'indique. Ce dernier moyen est sans contredit le meilleur, en ce qu'il donne la facilité de faire descendre la ventelle aussi aisément que de la faire monter, ce que les autres mécanismes ne permettent que quand la ventelle glisse avec une grande liberté dans les coulisses, ce qui n'a presque jamais lieu.

Pour faire ouvrir ou fermer les portes d'écluse, on se sert de cabestans qui communiquent à chaque ventail de la porte par une barre de bois mobile, ou, ce qui est préférable et plus simple, quand les portes ne sont pas d'une grandeur supérieure à celles des canaux ordinaires, on se sert d'un levier horizontal, assemblé à hauteur d'appui dans les bouts supérieurs du poteau-tourillon et du poteau busqué. Ce levier, dont la longueur est double de celle du ventail de la porte, a le précieux avantage de faire contre-poids, et par conséquent de soulager les bracons, et par suite le poteau-tourillon, en même temps qu'il donne un moyen facile de faire mouvoir les portes à volonté.

Quand la porte est cintrée, comme dans la planche 124, on choisit des morceaux de bois, naturellement courbes, pour faire les traverses horizontales, afin de ne pas trancher les fibres en taillant la courbure de ces traverses, ce qui les affaiblirait; les bracons seront faits par la même méthode que les limons d'escalier à rampe courbe, et les madriers sont forcés de prendre la courbure de la porte, en les appelant par des boulons de fer passant au travers des entretoises et des montans du châssis, à moins que leur épaisseur ne soit considérable, auquel cas il faudra les tailler tous, comme nous venons de le dire pour les bracons.

8me. LEÇON.

Des Ponts-levis.

47. On distingue deux classes principales de ponts en bois; les ponts fixes et les ponts mobiles. Chacune de ces deux classes se divise en plusieurs genres, et chaque genre en plusieurs espèces.

Nous allons d'abord nous occuper des ponts mobiles, qui sont : les ponts-levis, les ponts à bascule, les ponts roulans et les ponts tournans. Gauthey range même parmi les ponts mobiles, les bacs à traille, les ponts volans et les ponts sur bateaux. Nous nous contenterons ici de traiter des quatre premiers genres.

Des Ponts-levis.

48. On appelle *pont-levis* un plancher posé horizontalement sur les bajoyers d'un canal ou d'un fossé, qu'on peut lever verticalement en le faisant tourner sur un axe horizontal placé à l'une de ses extrémités, soit pour donner passage aux bateaux ou vaisseaux qui flottent sur le canal, soit pour intercepter la communication d'un bord à l'autre du fossé, et interdire ainsi l'entrée d'une forteresse.

Quand le canal a un grand débouché, on peut faire le plancher ou *tablier* du pont-levis de deux parties, dont l'une se relève de droite et l'autre de gauche; mais les tabliers des ponts-levis à l'entrée d'une forteresse ne peuvent être que d'une seule pièce, se relevant du côté de la porte, à laquelle même ils doivent servir de fermeture. Donnons quelques exemples.

49. La figure 416 est la moitié de l'élévation d'un pont-levis dont la disposition est la plus ancienne, au rapport de Gauthey. Le plancher ou tablier AB se compose d'un châssis de deux traverses A, B, dans lesquelles des poutrelles AB s'assemblent à tenons et mortaises. Les assemblages de ce châssis sont fortifiés par des bandes de fer qui embrassent les traverses, et passent dessus et dessous des poutrelles avec lesquelles elles sont réunies par des boulons écroués, ainsi qu'on le voit figuré en projection horizontale dans la figure 418. Ce châssis est recouvert de madriers jointifs. C'est à peu près de cette manière que se font tous les tabliers des ponts-levis. Le mouvement de ce tablier (fig. 416) se fait autour de deux tourillons de fer B, implantés dans les bouts de la traverse B du châssis, qui tournent

chacun dans l'œil d'un fort crampon à deux branches, solidement scellé dans les bajoyers.

Pour soutenir l'extrémité A du tablier quand le pont est abaissé, on dispose des contre-fiches *ab*, mobiles au moyen d'une articulation *a*, fixée aux poutrelles des bords et à celle du milieu du tablier, dont le bout *b* vient poser sur un appui placé sur les faces des bajoyers quand le pont est abaissé, et glisse en montant le long de barres de fer *bc* quand on lève le pont pour interrompre le passage.

Pour lever le pont, on se sert d'un châssis de charpente CD (fig. 416 et 419), soutenu par un axe horizontal E, autour duquel il peut librement faire un quart de révolution. Cet axe horizontal E s'appuie de chaque côté sur une gorge en fer fixée à un chevalet de charpente, composé d'un poteau EF, et d'une contre-fiche EG, attachée par le bas G à deux pieux jointifs II réunis par un chapeau, et par le haut avec le poteau FE, comme la figure 416 le fait voir. Ce châssis CD agit comme une bascule. Il faut que l'axe E soit placé de manière que la distance CE soit égale à la longueur AB du tablier du pont, pour que ce dernier puisse prendre la position verticale en même temps que le châssis CD quand on veut lever le pont. L'autre partie ED de ce châssis doit avoir un poids assez grand pour faire presque équilibre au poids de l'autre partie EC de ce même châssis, et à celui du tablier du pont, afin qu'en tirant les chaînes DH, deux hommes puissent, sans un grand effort, lever promptement le pont, et que, pour le baisser, il leur suffise d'accompagner la chaîne DH, pour que le tablier n'éprouve aucune secousse en tombant. Le châssis ou bascule CD se compose de deux poutres CD, CD dont la distance est égale à la largeur du pont; ces deux poutres, qu'on appelle *flèches*, sont réunies par des traverses et croix de saint André sur le derrière, entre l'axe E et le bout D, et sont isolées l'une de l'autre dans la partie opposée EC, ainsi qu'on le voit indiqué en projection horizontale dans la figure 419. Sur la traverse DD, on fixe des barreaux de fer ou de plomb, pour faire contre-poids et faciliter la manœuvre, ainsi qu'il vient d'être dit.

Les figures 417, 418, 419 et 420 sont l'élévation, les plans et la coupe d'un pont-levis tout semblable, à quelques détails près, que l'on a exécuté au canal Saint-Denis, près Paris. Dans cet exemple, la bascule est soutenue par un simple poteau KK, enfoncé dans la maçonnerie, s'appuyant sur une douille en fonte *d*, et maintenu d'à-plomb par des contre-fiches en fer. La figure 417 fait assez voir la disposition du point L de suspension de l'axe de la bascule. Du reste, cette bascule est semblable à la précédente. Les poteaux

bois AE, par des liens en fer *d*, brisés à charnières en leur milieu *d*, qui se replient et se logent dans des fentes pratiquées dans les leviers *bc*. Les extrémités *c* de ces derniers sont en forme de fourche à deux branches, entre lesquelles se trouvent des rouleaux mobiles sur lesquels passe la chaîne *hccc*L, qui est fixée en *h* au levier AE, et passe sous une poulie de renvoi L et sur une autre poulie M. On conçoit, d'après cette disposition, qu'en tirant le bout N de la chaîne, l'extrémité E du levier AE est obligée de décrire le quart de cercle Ee autour du point *a*, et d'entraîner avec elle, au moyen de la contre-fiche FF, le tablier du pont; de sorte que quand le levier AE est abattu horizontalement sur le seuil de la porte (fig. 423), le tablier AB du pont est situé verticalement, et sert de fermeture à la porte, en se logeant dans des feuillures. Pour tenir le pont dans cette position, on accroche le bout N de la chaîne à un crochet *i*. Si, au contraire, on veut abattre le pont pour établir la communication, on décroche la chaîne, et on soulève à bras la traverse dont la coupe se voit en E, et par un faible effort on fait pencher le tablier en dehors, de manière qu'ensuite, par son propre poids, le pont s'abat sur le chapeau II. On l'empêche de tomber brusquement en le conduisant au moyen de la chaîne. Les leviers en fer *bc*, *bc*, *bc* sont forcés de prendre leur écartement, par le moyen de la chaîne *ck* fixée dans le sol et au levier inférieur.

Les leviers en fer *bc*, *bc*, *bc* ont pour objet de conduire la chaîne *hc*L sous la poulie L, de la manière la plus convenable. Pour trouver la place que la poulie L doit occuper, il faut faire attention que le point *b*, lorsqu'on lève le pont, décrit un arc de cercle *bl* autour du point *a*, de sorte que le point *b* étant en *l*, les extrémités *c* des leviers *bc* sont toutes en *e*; d'où il suit qu'un certain point de la chaîne *hc*L est transporté en *e*, à une distance $le = bc$. Mais pour que le mouvement du pont soit le moins dur possible, il convient que la partie de la chaîne au-dessous du point *e* soit verticalement tangente à la poulie, ce qui indique positivement la place de cette dernière. Pour avoir le point *e*, avec le rayon *ab*, on décrira le quart de cercle *bl*, et on fera $le = bc$. On observera que les leviers *bc* étant plus courts que le rayon *a*E, le point *e* sera sous le levier AE abattu horizontalement, le pont étant levé, de sorte que la poulie L sera au moins en partie sous ce même levier AE, ce qui exige que cette poulie L soit placée assez bas dans une chambre pratiquée dans le sol, pour que ce levier ne gêne pas son mouvement.

A ce mécanisme ingénieux, on pourrait substituer un quart de roue dentée qui viendrait s'engrener dans un pignon qu'on ferait tourner au moyen

d'une manivelle; mais ou il faudrait placer ce pignon vers le point E du levier AE, et mettre le quart de roue dentée à la place de la contrefiche en fer FF, ce qui serait incommode pour faire tourner la manivelle, ou le placer en bas à la portée des hommes, et, dans ce dernier cas, il faudrait pratiquer une tranchée dans le seuil à l'à-plomb de chaque jambage de la porte, pour loger le quart de roue dentée, lorsque le pont serait levé. Ce dernier parti pourrait quelquefois convenir lorsque le tablier du pont ayant une grande longueur, serait trop lourd pour être mis en mouvement par le mécanisme que nous venons d'expliquer ; auquel encore on pourrait substituer le moyen imaginé par Bélidor, qui consiste à mettre le pont en mouvement par un contre-poids disposé de manière à faire constamment équilibre au poids du tablier, dans toutes les positions que peut prendre ce dernier. Mais comme le poids de ce tablier varie à mesure que la verticale abaissée de son centre de gravité s'approche ou s'éloigne de l'axe de rotation, dans sa Science des ingénieurs, cet auteur a expliqué que le contre-poids devait glisser sur une surface dont la courbure devait être calculée de manière à augmenter ou diminuer le frottement de ce contrepoids, suivant que l'action du poids du tablier du pont diminue ou augmente. Je renvoie le lecteur au chapitre V du livre IV de l'ouvrage cité, pour la disposition et le détail de cette espèce de ponts-levis.

9me. LEÇON.

Des Ponts à bascule et des Ponts roulans.

Des Ponts à bascule.

51. Les ponts à bascule sont des ponts-levis d'une disposition particulière. Nous avons vu que dans les ponts-levis l'axe autour duquel le pont fait son mouvement est placé à l'une des extrémités du tablier; dans les ponts à bascule cet axe est placé au centre de gravité du plancher, ainsi que nous allons le voir dans les figures 425 et 426, qui sont le plan et l'élévation d'un pont à bascule que Lamblardie a fait construire sur l'écluse du bassin d'Ingouville, au Hâvre, où la largeur du passage est de 13 ^{m}. 64, et dont la disposition a servi de modèle à celle des ponts du canal de l'Ourcq.

Le plancher ABBA (fig. 425 et 426) des ponts à bascule se divise donc en deux parties par l'axe de mouvement qui passe par le centre de gravité C de ce plancher. La partie AC, du côté de l'entrée du pont, se nomme la culée, et l'autre partie CB est le tablier.

La disposition des ponts à bascule exige donc une espèce de fosse D pour loger la culée lorsqu'on lève le pont, et un point d'appui sous le centre de gravité; ce point d'appui doit être un mur ou bajoyer E, séparant la fosse du canal. Le niveau du dessus de ce bajoyer doit être plus bas qué celui du dessus du pont, d'une quantité égale à toute l'épaisseur de ce dernier, plus le rayon *ab* d'un quart de cercle *bc* sur lequel le pont doit produire son mouvement. La surface cylindrique *bc* du quart de cercle doit être revêtue d'une bande de fer percée de trous également espacés, dans lesquels engreneront, lorsque le pont sera en mouvement, les dents *d* scellées sur le bajoyer E, pour que le pont ne puisse glisser et se déranger de sa route. L'intention de Lamblardie a été, en employant cette disposition ingénieuse et en même-temps solide, d'écarter le pont du bord du canal pour laisser un espace libre sur le bajoyer, pour la manœuvre du hallage, quand le pont est levé. De cette manière, son pont prend simultanément deux mouvemens, un de translation horizontale, dont l'étendue est égale à la circonférence du quart de cercle *bc*, et l'autre de rotation autour de l'axe horizontal mené par le centre de gravité du plancher. Ce double mouvement peut se faire de telle sorte, que le centre de gravité se meuve dans un plan horizontal; pour cela il suffit que le centre *a*, du quart de cercle *bc*, soit situé sur l'axe de rotation qui passe par le centre de gravité.

Pour diminuer la longueur AC de la culée du pont, il faut charger cette culée de contre-poids, qui doivent consister en lames de plomb, ou mieux encore de fer, dont on peut tirer parti pour relier les assemblages du plancher.

La contre-fiche *ge* et le valet *f* ont pour objet de soutenir l'extrémité B du tablier, quand le pont est abaissé. Le jeu de cette contre-fiche et de son valet est le même que nous avons expliqué au n°. 49 en parlant des ponts-levis, et doivent, par conséquent, satisfaire à la même condition; c'est-à-dire que $ge+eh=gC+Ch$; la culée est soutenue par le valet FA, qu'on loge sous le seuil I, par le moyen du levier de fer G.

Le pont est mis en mouvement au moyen d'une corde ou d'une chaîne sans fin, attachée en A, sous la culée du pont, et qui passe dans une poulie K fixée dans la maçonnerie au fond de la fosse, et sur un treuil H, qu'on fait tourner au moyen d'un engrenage M, et d'une manivelle L. Cet engrenage est abrité dans une chambre dont l'extérieur a la forme d'un piédestal, et sert à annoncer l'entrée du pont. On conçoit que pour que le plancher du pont ne prenne pas du gauche, il faut deux chaînes, une de chaque côté et par conséquent deux engrenages et deux chambres ou piédestaux.

Nous pourrions donner un plus grand nombre d'exemples de ponts à bascule; nous pourrions, entr'autres, donner celui construit sur le canal de l'Ourcq, par M. Gérard, et celui proposé par M. Letellier, ingénieur des ponts et chaussées; mais pour abréger, nous renverrons le lecteur au traité de la construction des ponts de Gauthey, où il trouvera, sinon les détails, du moins l'esprit de ces compositions.

Des Ponts roulans.

52. Le mouvement des ponts roulans a lieu horizontalement, et de manière que le tablier se retire en arrière sur les bords du canal, d'une quantité égale à sa longueur. Ces ponts ont l'avantage que lorsqu'ils sont retirés pour laisser passer les bateaux ou les vaisseaux, ils ne gênent aucunement la manœuvre, le tablier ne se relevant pas comme dans les ponts-levis et dans les ponts à bascule. Nous nous contenterons d'en donner deux exemples que voici.

Exemple 1er. Les figures 427 et 428 sont la projection verticale, suivant la longueur, et la coupe en travers d'un pont roulant projeté par Lamblardie, pour le Havre. Le tablier AB, de ce pont, est d'une longueur double de la partie AC, de ce même tablier, qui est en saillie dans le canal. Cette partie AC est proprement le tablier du pont; l'autre partie CB est la culée. Le tablier et la culée forment ensemble un seul et même plancher dont la construction est semblable à celle des tabliers des ponts-levis et des ponts à bascule. Ce plancher roule sur des rouleaux DDD qui tournent sur des axes en fer, appuyés sur un châssis de charpente fixé sur le bord du canal. Le dessous du plancher du pont est au niveau du sol des bords du canal, de sorte que toute l'épaisseur de ce plancher se trouve en contre haut, ce qui exige un faux tablier BE mobile autour d'une articulation *a*. Ce faux tablier BE s'élève ou s'abaisse au moyen d'une vis *bc*, de manière que lorsqu'il est abaissé, sa face supérieure est au niveau de la face inférieure du pont, et lorsqu'il est élevé, il conduit les voitures sur le plancher du pont. Pour soutenir l'extrémité A du tablier, se trouvent deux potelets *de*, réunis entre eux par des traverses *ff*, qui viennent toucher le fond du canal. Lorsqu'on veut retirer le pont, on relève ces potelets pour les empêcher de frotter sur le fond du canal, en les faisant un peu tourner sur un axe placé en *f* sous l'extrémité A du tablier, au moyen d'une crémaillère *g* dont les dents engrènent dans un pignon *h* qu'on fait tourner au moyen d'une manivelle. Pour que le poids du pont et celui des voitures ne fatiguent pas trop les rouleaux fixes DDD, aux poutres AB qui forment les bords du plancher, on a adapté de fortes roulettes *iii* emman-

il n'est pas plus difficile de faire un pont tournant double qu'un simple, nous ne donnerons des exemples que de ces derniers.

Exemple 1er. Les figures de la planche 129 sont le plan, l'élévation et la coupe d'un pont tournant, en imitation de celui exécuté sur le canal de Landrecy, département du Nord. Dans ce pont, la longueur AB (fig. 430, 431 et 432) du tablier est beaucoup plus considérable que celle BC de la culée, ce qui exige, comme il vient d'être dit, que l'on rende la culée BC plus lourde, soit par des contre-poids, soit autrement, le point B étant le centre du pivot ou de rotation, de manière que le centre de gravité du plancher soit sur la verticale élevée par ce point B, ou, au moins, si ce centre de gravité ne tombe pas sur le point B, il ne sorte pas du cercle DEFG, dont le rayon BD est la moitié de la largeur du pont, et le plus près possible du centre B de ce cercle. Cela posé, voici de quelle manière on construira le pont.

On commencera par disposer des poutres HH, HH,..... dans le sens de la longueur du plancher, également espacées, et posées de champ, sur lesquelles on clouera jointivement des plabords de dix à douze centimètres d'épaisseur, disposés dans le sens de la largeur du pont, comme on le voit dans la planche 129. Par dessus ces plabords, qui seront de chêne, on en mettra d'autres, en bois tendre, en peupliers, par exemple, sur lesquels les voitures rouleront. Les poutres HH, HH, ..., seront réunies, en outre, par une traverse, à chaque bout du pont, qui sera arrondie extérieurement au pont, suivant des arcs de cercle dont les rayons seront les distances BA et BC, dans lesquelles les poutres HH, HH,..... seront assemblées à tenons et mortaises. Ces assemblages seront maintenus par des bandes de fer plat, vissées sur les traverses et les poutres en dessus et en dessous. Au-dessous de chaque poutre HH, on placera une sous-poutre II, dont la longueur sera double, à peu près, de la longueur BC de la culée du pont, que l'on réunira aux poutres HH par de forts boulons *ab*, *ab*. Transversalement, et au-dessous des sous-poutres seront disposées trois poutrelles KK, DF, KK, entretenues par des entre-toises au droit de chaque sous-poutre, assemblées à tenons et mortaises avec les poutrelles KKK, et réunies avec le reste du plancher par les boulons *cd*, *cd*, *cd*, *cd*. On disposera quatre roulettes ou galets MMMM, aux points D, E, F et G de la circonférence d'un cercle DEFG, qu'on fixera aux poutrelles KK, DF, KK, au moyen de liens de fer et des vis à écrous ou sans écrous, comme on le voit figuré. Ces galets glisseront sur une bande de fer circulaire DEFG, scellée sur le mur du bajoyer. Le pivot B sera fixé sous le plancher du pont, et tournera dans une crapaudine N, ou mieux encore, la crapaudine sera fixée sous le plancher,

et le pivot sera scellé en N, dans la maçonnerie, à une profondeur assez considérable, pour qu'il ne puisse être ébranlé par le mouvement du pont.

Les roulettes MMMM auront pour objet, de donner au pont, des points d'appui qui l'empêchent de culbuter autour du pivot. Pour empêcher ensuite le pont de culbuter autour de l'une des roulettes M, on peut disposer la crapaudine et le pivot de manière que ce dernier porte une espèce de bourelet à sa circonférence, qui soit pris dans la crapaudine de telle sorte qu'il n'en puisse sortir. Pour cela, il suffira de faire la crapaudine de deux morceaux qu'on réunira par une forte virole, quand le pivot sera dedans.

La construction de ce pont est telle, et la culée est si courte, par rapport au tablier, que le centre de gravité pourrait tomber au-delà de la circonférence du cercle décrit par les roulettes M, ce qui pourrait gêner le mouvement du pont, et même le faire culbuter, ou du moins fatiguer beaucoup le pivot et la crapaudine. Pour remédier à cet inconvénient, on chargera l'extrémité C de la culée de contre-poids suffisans pour ramener le centre de gravité sur le pivot.

Pour faire tourner ce pont, on scellera, dans la maçonnerie, un arc de cercle en fer, denté intérieurement, qui engrenera avec un pignon R qu'on fera tourner au moyen d'une manivelle S, faisant sa révolution dans un plan horizontal. L'effort à exercer sur cette manivelle sera très-faible, surtout dans le cas où le centre de gravité du pont répondra parfaitement au pivot.

Cette disposition de pont tournant n'a qu'un seul défaut, qui consiste en ce que le tablier restant isolé pendant son mouvement, son poids fatigue les poutres HH,..... et peut leur faire prendre une inflexion, en peu de temps, qui rend son mouvement très-difficile. Voici un exemple où ce défaut est corrigé presque entièrement.

Exemple 2. Les figures 433, 434 et 435 sont le plan, l'élévation et la coupe du pont tournant du canal Saint-Martin, publié par M. de Villiers, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Ce pont, dont on trouvera les détails dans la description qu'en donne l'ingénieur que nous venons de citer, dans son écrit intitulé : *Description du canal Saint-Denis et du canal Saint-Martin*, a beaucoup d'analogie avec le précédent, quant à la disposition principale; mais quant aux détails, il offre d'assez grandes différences.

D'abord le plancher n'est pas construit tout-à-fait de la même manière, ainsi que les figures de la planche 130 le font voir; et les roulettes sur lesquelles le pont tourne, sont comprises entre deux cercles de fonte ABCD, *abcd*, sur lesquels le plancher est fixé, par le moyen des traverses *ee*, *ff*, *gg*, *hh* et *ii*. Celles *gg*, qui répondent au pivot, sont plus fortes que les autres,

et servent d'appui à deux colonnes de fonte *kk*, au sommet desquelles deux tringles de fer, *lm*, *ln*, viennent se réunir à un boulon qui traverse une patère *l* fixée dans la colonne. Ces colonnes et ces tringles ont pour objet de soutenir le tablier et la culée du pont, pendant le mouvement. Ce mouvement est produit par une manivelle qui fait tourner un pignon *o*, s'engrenant avec une roue dentée *pqr*, qui porte elle-même un pignon à son centre, et en dessous, qui s'engrene à son tour dans la crémaillère circulaire *st*. Je renvoie le lecteur à l'ouvrage de M. de Villiers, où il trouvera les détails de ce pont dessinés sur une grande échelle.

EXEMPLE 3. Les figures 436 et 437 sont le plan et l'élévation latérale d'un pont tournant sur un arbre vertical AB, qui est une imitation de celui exécuté sur le canal de Stavern, en Hollande, qu'on trouvera dans le traité de charpente de M. Krafft. La disposition de ce pont est si simple, qu'il suffira au lecteur de jeter un coup-d'œil sur la planche 131, pour la comprendre dans toutes ses parties. Je ne crois pas qu'il soit nécessaire de faire remarquer les avantages et les inconvéniens de cette disposition.

Nous pourrions beaucoup plus multiplier les exemples des ponts tournans; mais nous croyons ceux qui précèdent suffisans, pour faire entendre ce genre de construction. Au surplus, ceux qui désireront en connaître un plus grand nombre, n'auront qu'à ouvrir l'ouvrage de M. Krafft, où ils trouveront, sur ce sujet, de quoi se satisfaire, cet auteur ayant recueilli presque tous les ponts de ce genre qui ont été exécutés tant en France qu'à l'étranger. Malheureusement il ne les a accompagnés d'aucune explication.

7me. LEÇON.

Des Ponts fixes.

56. Un pont fixe n'est au fond qu'un plancher qui traverse une rivière d'un bord à l'autre. Il faut que ce plancher soit situé à une hauteur convenable au-dessus des grandes eaux, pour que les plus grands bateaux qui fréquentent la rivière puissent passer librement dessous. Suivant les circonstances, on donne à ce plancher un nombre de points d'appui plus ou moins grand.

Si la distance entre les points consécutifs, n'est que de 2 à 10 mètres, on dit que le pont est à *petite portée;* quand cette distance est de 10 à 20 mè-

tres, le pont est à *portée moyenne*, et quand elle est de 20 mètres et au-dessus, il est à *grande portée*.

Quand la partie de plancher comprise entre deux points d'appui consécutifs est soutenue par des fermes composées de pièces de bois droites, cette portion du pont se nomme *travée*, et dans le cas où ce soutien est formé par des pièces de bois courbes, on l'appelle *arche*. Les ponts fixes sont à une ou plusieurs travées ou arches; quand ils n'en ont qu'une, il n'y a que deux points d'appui situés aux deux bords de la rivière, auxquels on donne le nom de *culées*. Quand il y a un ou plusieurs points d'appui entre les deux culées, on donne à ces points da'ppui le nom de *piles* ou *palées*, suivant que ces points d'appui intermédiaires sont en maçonnerie ou en charpente.

Des Culées.

57. Comme les culées se font presque toujours en maçonnerie, et que, lorsqu'on les fait en charpente, cette construction est tout-à-fait analogue à celle des bajoyers des écluses, il nous paraît inutile de nous en occuper ici.

Des Palées.

58. Les palées se composent d'une ou de plusieurs files de pieux plantés dans la direction du courant du fleuve.

Le régime du courant et la nature du terrain du fond de la rivière, sont des considérations qui indiquent les cas où il faut une ou plusieurs files de pieux.

Pour qu'une palée soit bien construite, il faut que les pieux soient réceppés un peu au-dessous des plus basses eaux, afin qu'étant constamment couverts par ce liquide ils soient inaltérables. De sorte que, par cette précaution et en ayant soin de préserver la palée des affouillemens, cette partie du pont n'aura jamais besoin d'être réparée, ce qui est de la plus grande importance, puisqu'il serait impossible de renouveler les pieux sans démolir le pont en entier, ou du moins les travées qui aboutiraient à la palée dont il s'agirait. C'est pour cela que, à moins que le pont ne soit que provisoire, il ne faut jamais que les pieux soient assez longs, pour qu'après leur avoir donné une fiche suffisante, ils s'élèvent assez au-dessus des grandes eaux, pour qu'on puisse établir le plancher du pont immédiatement sur leurs têtes.

Les pieux étant réceppés au-dessous des basses eaux, on les réunira par un cours de moises bien boulonnées entre elles; au même niveau, et sur la tête de chaque pieux, on entera un poteau d'une longueur convenable pour arriver

à la hauteur du plancher. Pour réunir fortement ces poteaux aux pieux, on implantera un goujon en fer, d'une longueur suffisante, qui entrera moitié dans les pieux et moitié dans les pieds des poteaux, ou bien on entaillera à fourchette, et la tête des pieux, et le pied des poteaux. En outre, on posera un cours de moises, boulonnées entre elles, sur celui qui réunit les têtes des pieux, qui embrassera les pieds des poteaux, et que l'on boulonnera avec le premier cours. Les poteaux seront coiffés par un chapeau sur lequel le plancher viendra poser, et ce chapeau et le cours des moises du pied des poteaux, maintiendront ces derniers dans leur état de parallélisme. Pour les empêcher de balotter, c'est-à-dire d'aller et de venir dans leur plan vertical, on les réunira par des moises inclinées, ou des bracons, ainsi qu'on le voit indiqué de plusieurs manières dans les figures 439, 441, 443, 445 et 452.

On voit, par ce qui précède, qu'une palée se compose de deux parties principales, les pieux et leurs moises, et les poteaux et leurs liens. Pour les distinguer, on appelle *palée basse* la première partie, *et palée haute* la seconde.

Si la palée basse se compose de deux files de pieux, la palée haute pourra encore ne se composer que d'un rang de poteaux; mais alors les pieds de ce rang de poteaux poseront sur des entretoises boulonnées sur les moises de la palée basse; et pour maintenir les pieds des poteaux sur ces entretoises, un double cours de moises boulonnées entre elles, sera boulonné sur ces mêmes entretoises.

En amont des palées simples, doubles ou triples (*), et sur le prolongement de leurs axes, on plante un certain nombre de pieux, qu'on réunit par un cours de moises inclinées, bien boulonnées, qu'on recouvre d'un fort chapeau, taillé en dos par dessus. Ce chapeau se nomme *brise-glaces*, et doit être recouvert de bandes de fer plat pour le garantir du choc et du frottement des morceaux de glaces qui viennent se briser contre. On peut faire ce brise-glaces tout en fonte, comme le propose Gauthey.

L'ensemble des pieux, des moises inclinées et du brise-glaces dont nous venons de parler, constitue ce qu'on appelle un *avant-bec*. Dans les palées doubles, et celles qui sont triples, on pourrait faire les avant-becs triangulaires en plan, par deux files de pieux dont les directions formeraient des angles plus ou moins aigus, soit en leur faisant porter les brise-glaces, soit en plaçant ces derniers en avant, comme on le voit en plan dans la planche 133.

(*) On entend ici par palées simples, doubles ou triples, celles qui ont un, ou deux, ou trois rangs de pieux.

« Les brise-glaces, dit Gauthey, sont ordinairement isolés des palées qu'ils » garantissent, parce qu'on craint que les chocs qu'ils reçoivent ne nuisent » à la solidité du pont. Mais quand le pont est large, il n'y a aucun » danger à assembler les palées avec le brise-glaces, et ce dernier devient » plus solide. » Les exemples que nous donnons dans les planches 132 133 et 135, offrent plusieurs moyens de réunir le brise-glaces avec la palée, ainsi qu'on le voit dans les coupes figures 439, 441, 443, 445 et 452. L'exemple figure 439 est très-solide et très-remarquable par sa disposition; il est tiré d'un pont fait sur la Saône, à Lyon.

Des Planchers des ponts.

59. Les planchers des ponts se composent,

1°. De fortes poutres posées, dans le sens de la longueur du pont, sur les chapeaux des palées hautes; et on met autant de ces poutres qu'il y a de poteaux dans la palée.

2°. De poutrelles ou pièces de pont, dirigées dans le sens de la largeur du pont, qui posent immédiatement sur les poutres précédentes, et qui sont espacées d'environ deux mètres, de milieu en milieu. Ces pièces de pont dépassent la largeur du pont de chaque côté, pour servir de point d'appui aux contrefiches extérieures qui maintiennent les poteaux des gardes-corps ou parapets du pont, comme on le voit dans les figures 441, 443, 452, 459. Quand le garde-corps doit être en fer, les pièces de pont n'ont pas besoin de dépasser la largeur du plancher, ainsi que le fait voir la figure 439.

3°. Entre les pièces de pont, et dans une direction qui leur est parallèle, sont posés jointivement des madriers de 10 à 12 centimètres d'épaisseur. Ces madriers, ainsi que les pièces de pont, sont fortement arrêtés sur les poutres qui posent sur le chapeau des palées, par des chevilles en fer.

4°. Contre les poteaux des gardes-corps, et suivant la longueur du pont, sont posées de champ, des poutres dont la face supérieure est sur la surface du pavage du pont, que ces poutres sont destinées à maintenir. On les appelle *gardes-sable* ou *gardes-grève*. C'est sur les madriers et les pièces de pont qu'on établit, entre les gardes sable, la forme de sable qui doit recevoir le pavage ou l'enrochement.

On ne pave et on n'enroche plus guère, maintenant, les ponts en bois, parce qu'on a reconnu que le pavé et le sable, non-seulement chargent

inutilement le pont, mais entretiennent une si grande humidité sur les bois qu'ils touchent, qu'ils les font pourrir promptement.

A cet effet, sur les poutres qui posent sur les chapeaux des palées, on pose en travers des pièces de pont, à environ un mètre de distance les unes des autres, en observant de faire plus longues celles qui se trouvent au droit des poteaux des gardes-corps, comme il a été dit ci-dessus. Sur ces pièces de pont, on pose des madriers jointifs, dans le sens de la longueur du pont, d'une épaisseur de 10 à 12 centimètres ; sur ces madriers, on en pose transversalement de moins épais et d'un bois plus tendre, qui reçoivent le frottement des voitures, et qu'on renouvelle quand il le faut. On fait ces madriers en bois tendre, pour empêcher les pieds des chevaux de glisser. Les figures 443, 456 et 459 sont les coupes en travers de trois planchers de ce genre.

Des Travées et des Arches.

60. Lorsque la portée d'un pont est petite, c'est-à-dire quand elle ne dépasse pas 4 à 5 mètres, on se contente de poser le plancher du pont sur les chapeaux des palées hautes; quand l'ouverture est plus grande, on soutient les poutres par des contrefiches, comme on le voit indiqué dans la figure 438. Ces contrefiches, au lieu de s'assembler, comme dans cet exemple, aux extrémités des sous-poutres placées sur les chapeaux des palées, pourraient s'assembler à une sous-poutre placée au milieu de la travée, et boulonnée avec la poutre, comme dans figure 440; enfin, on pourrait combiner ces deux moyens, en doublant les contrefiches, ainsi qu'on le voit (fig. 442). Si ces dernières étaient assez longues pour qu'on eût à craindre qu'elles vinssent à fléchir dans le milieu, on pourrait les maintenir par des moises inclinées, boulonnées aux poutres au-dessus des chapeaux des palées, de la manière qu'on voit (fig. 440 et 442).

Pour les moyennes et les grandes portées, on soutient le plancher par des fermes du genre de celles indiquées dans les planches 133 et 134. Ces systèmes de charpente sont aussi solides que possible, quand on emploie des pièces de bois droites; cependant quand la portée est très-grande, et qu'il faut un grand nombre de morceaux pour former le poligone, comme dans la figure 447, alors la multiplicité des assemblages, et la position désavantageuse des pièces de bois rendent ce système défectueux.

Le polygone inférieur de la figure 449 est plus nuisible qu'utile, ce qui est facile à concevoir par la seule inspection de cette figure.

On a quelquefois employé des fermes qui s'élèvent plus ou moins au-dessus du

plancher, comme aux ponts de Schaffouse (*), de Zurich, de Mellingen, etc.; mais ces moyens extraordinaires, quoique très-beaux et très-solides, sont peu en usage en France; et on préfère à tous les systèmes connus, celui en arches, formées de pièces courbes, disposées comme on le voit dans les planches 135 et 136. L'aspect des figures 451, 453, 455 et 458, suffit, en effet, pour faire comprendre la supériorité de ce système, soit sous le rapport de la forme, soit sous celui de la solidité. La courbure du cintre est ordinairement un arc de cercle de 60° de l'ancienne division.

S'il s'agissait de ponts de très-grande portée, comme ceux de Schaffouse, de Zurich, de Mellingen, on pourrait construire les cintres de tête de manière à faire monter leur sommet au-dessus du plancher, en suspendant ce dernier à ces grands cintres, par des moises pendantes. Si le pont était trop large pour que les cintres de tête pussent porter le plancher sans qu'on eût à craindre que les poutres tranversales de ce dernier ne vinssent à fléchir, dans le milieu de la largeur du pont, on pourrait mettre un troisième cintre, qui s'éleverait aussi au-dessus du plancher, et qui diviserait le pont en deux galeries, en servant d'appui au milieu du plancher. Je me dispense de donner les dessins de cette disposition, persuadé que le lecteur y suppléera sans peine.

Que les fermes qui soutiennent les travées des ponts soient polygonales ou cintrées, il en faut autant que le plancher a de poutres sur la largeur du pont, excepté le cas dont nous venons de parler, et par conséquent autant que les palées ont des poteaux.

Ces fermes doivent être reliées entre elles par des cours de moises horizontales, et, en outre, par des contrevents ou pièces diagonales, boulonnées avec ces dernières moises, comme on le voit indiqué en projection horizontale, dans la figure 457. En un mot, il faut que toutes les parties du système soient réunies entre elles dans tous les sens, et le plus solidement possible.

FIN DE LA CHARPENTE EN BOIS.

(*) Voyez le traité de la construction des ponts par M. Gauthey, inspecteur général des ponts-et-chaussées.

TABLE DES MATIÈRES.

ÉLÉMENS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE.

CHARPENTE EN BOIS.

SECTION PREMIÈRE.

Des qualités des bois.

SECTION DEUXIÈME.

CHARPENTE DE BATIMENS.

13e. Leçon.

SECTION TROISIÈME.

CHARPENTE HYDRAULIQUE.

1re. Leçon.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

